Postverlagsort Leipzig

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

UNTER MITWIRKUNG VON

A. BUTENANDT BERLIN-DAHLEM · P. DEBYE BERLIN-DAHLEM · F. K. DRESCHER-KADEN GÖTTINGEN · H. v. FICKER WIEN · R. GRAMMEL STUTTGART

O. HAHN BERLIN-DAHLEM · M. HARTMANN BERLIN-DAHLEM · F. KÖGL UTRECHT · M. v. LAUE BERLIN · E. v. d. PAHLEN POTSDAM

F. SAUERBRUCH BERLIN · H. SPEMANN FREIBURG I. BR. · H. STILLE BERLIN · F. v. WETTSTEIN BERLIN-DAHLEM

HERAUSGEGEBEN VON

FRITZ SÜFFERT

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

UND

ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

HEFT 10 (SEITE 137—152) · 7. MÄRZ 1941 · 29. JAHRGANG

INHALT:

Zum 40-jährigen Jubiläum des Wärmestrahlungsgesetzes. Von M. v. LAUE 137

Gerichteter Schall. Die theoretischen Grundlagen für das gerichtete Senden und Empfangen von Schallwellen und seine praktischen Anwendungen auf Probleme mit Schallausbreitung in freien Medien. Von F. A. FISCHER. (Mit 12 Figuren) 138

Charakterisierung und Mechanismus der Krebs erzeugenden Kohlenwasserstoffe. Von OTTO SCHMIDT. (Mit 2 Figuren) 146

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN:

Eine neue Aktivitätszone der Sonnenkorona. Von M. WALDMEIER 150

Phosphoreszenzumwandlung durch Sauerstoff. Von H. KAUTSKY und G. MÜLLER 150

BESPRECHUNGEN:

Handbuch der analytischen Chemie. Herausgegeben von R. Fresenius und G. Jander. III. Teil: Quantitative Bestimmungs- und Trennungsmethoden. Bd. I a. (Ref.: O. Hönigschmid) 151

Annual Review of Biochemistry, Volume VIII. Herausgegeben von J. M. Luck und J. H. C. Smith. (Ref.: A. Butenandt) 152

Soó V. BERE, R., Vergangenheit und Gegenwart der pannonischen Flora und Vegetation. (Ref.: R. Kräusel) 152

Die Interferenzen von Röntgen- und Elektronenstrahlen

Fünf Vorträge

von

M. v. Laue

Professor an der Universität Berlin

Mit 15 Abbildungen. 46 Seiten. 1935. RM 3.60

Diese Vorträge, gehalten auf Einladung des Institute for Advanced Study und der Universität in Princeton N. J., behandeln die neuesten Ergebnisse auf dem Gebiete der Röntgen- und Elektronen-Strahl-Interferenzen. Der Verfasser gibt eine Übersicht über die neuere Entwicklung, die die Theorie der Röntgenstrahlinterferenzen genommen hat. Die elementare Theorie, die auf die Wechselwirkung der Atome in der Streuung keine Rücksicht nimmt, kann wohl als abgeschlossen gelten. Aber die dynamische Theorie ist in den letzten Jahren über die Grundlagen, die ihr Darwin und vor allem Ewald gegeben haben, erheblich hinausgewachsen. Zudem hat in diesem Jahre Kossel die Umkehrung der altbekannten Interferenzerscheinung der Röntgenstrahlen gefunden, die dann eintritt, wenn die Atome des Kristalls selbst zu Strahlungsquellen gemacht werden. Das hat auch eine Weiterentwicklung der Theorie notwendig gemacht, die sich an das frühere anschließt mittels des Reziprozitätssatzes der Optik. Diese Arbeiten haben auch endlich ein gewisses Verständnis eröffnet für eine Erscheinung, die den Experimentatoren bei der Elektronenbeugung längst aufgefallen war. Der Verfasser meint die von Kikuchi entdeckten und von ihm und seinen Mitarbeitern, aber auch anderen Physikern, oft beschriebenen Kegel verstärkter oder abgeschwächter Elektronenstreuung. Damit ist das Programm für die Vorträge gegeben.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen wöchentlich und können im In- und Auslande durch jede Sortimentsbuchhandlung oder jede Postanstalt bezogen werden. Preis vierteljährlich RM 9.60. Hierzu treten bei direkter Zustellung unter Kreuzband die Versandspesen bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Einzelpreis dieses Heftes RM 1.— zuzüglich Porto. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, Studierende, ferner Ärzte in nicht vollbezahlter Stellung erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20%.

Manuskripte, Bücher usw. an
Die Naturwissenschaften, Berlin W 9, Linkstr. 22/24, erbeten.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung (entsprechend § 42 des Verlagsgesetzes) der in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihre Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Anzeigen werden von der Verlagsbuchhandlung angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe erfragen. Letzter Annahme-Termin: 12 Tage vor Erscheinen der betreffenden Nummer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 22/24
Fernsprecher: 21 81 11.

BEZUGSQUELLEN

ANALYSENWAAGEN

Sartorius-Werke, Aktiengesellschaft, Göttingen

MIKROSKOPISCHE HILFSMITTEL

Bernhard Halle Nachf., Berlin-Steglitz, Hubertusstraße 11: Polarisations-Optik

MIKROSKOPISCHE PRÄPARATE

J. D. Möller G. m. b. H., Wedel/Holstein

MIKROTOME

Sartorius-Werke, Aktiengesellschaft, Göttingen

PHYSIKALISCHE APPARATE

Berliner physikalische Werkstätten G. m. b. H., Berlin W 35, Woyrschstr. 8. Telegrammadr. Physik

PRÄZISIONSWAAGEN

Sartorius-Werke, Aktiengesellschaft, Göttingen

SPEKTRALAPPARATE

Bernhard Halle Nachf., Berlin-Steglitz, Hubertusstraße 11: Spektral-Optik für d. sichtb. u. U-V-Gebiet

Je 50 Stück **Präparatengläser**
rund, eingeschl. Deckel, 29 und 40 cm hoch, abzugeben:
HEFFERT · MÜNCHEN 38

Verkaufe trop. Früchte u. Verschied.
— Bitte Liste anfordern. —
FERD. FRANZ, PADERBORN, Thisaut 6

Zur Zeit ist Anzeigenpreisliste 4 gültig.

Keine Wundbehandlung ohne Ultraviolett-Bestrahlung!

Schnelle Überhäutung, rasches Austrocknen, ganz starke bakterizide Wirkung, wirksame Desodorierung, schnelle Schmerzfreiheit und überaus günstiger Heilverlauf.

Jede Operation, jeder Verbandwechsel sollte mit einer Bestrahlung mit der „Künstlichen Höhensonne" — Original Hanau — abgeschlossen werden. (Näheres Schrift Nr. 931.)

Quarzlampen-Gesellschaft m. b. H.,
Hanau a. M. · Postfach 44

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang | 7. März 1941 | Heft 10

Zum 40-jährigen Jubiläum des Wärmestrahlungsgesetzes.

Von M. v. LAUE.

Als eine (etwas verspätete) Erinnerung an den 14. Dezember 1900, an welchem M. PLANCK sein Strahlungsgesetz vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft quantentheoretisch begründete, sei hier der folgende Brief von E. PRINGSHEIM und O. LUMMER an ihn vom 24. Oktober 1900 mitgeteilt. Zum Verständnis muß man sich die folgenden Daten in die Erinnerung rufen:

Am 2. Februar 1900 hatte LUMMER vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft[1]), am 18. September 1900 auf der Naturforscherversammlung auf Grund von Messungen von ihm selbst und PRINGSHEIM ein Strahlungsgesetz vorgeschlagen von der Form

$$E = C\,T^{5-\mu}\,\lambda^{-\mu}\,e^{\frac{c}{(\lambda T)^{\nu}}},$$

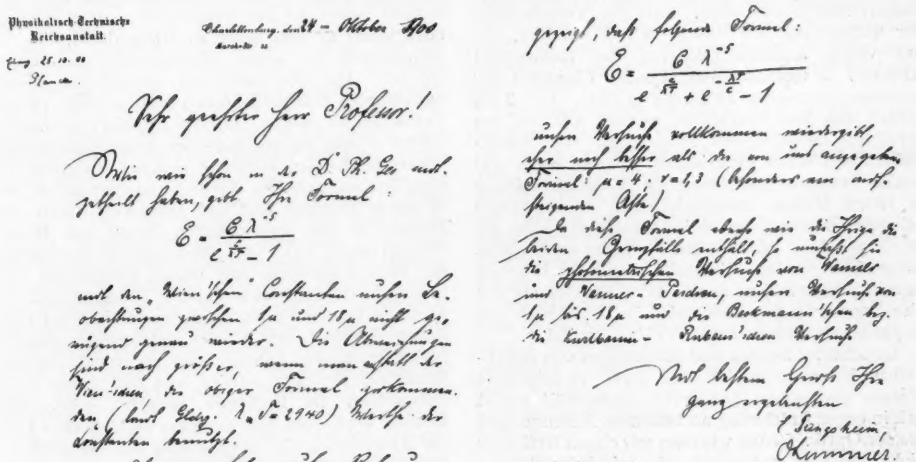
und zwar mit den Werten

$$\mu = 4, \qquad \nu = 1, 3.$$

Am 19. Oktober 1900 hatte PLANCK vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft[2]) in einer nicht durch die Tagesordnung angekündigten Bemerkung zu einem Vortrage F. KURLBAUMS zum ersten Male sein Strahlungsgesetz mit einer halbempirischen, interpolatorischen Begründung bekannt gegeben. Darauf bezieht sich der Brief. Die Grenzfälle, von denen sein letzter Abschnitt spricht, sind das RAYLEIGHsche und das WIENsche Strahlungsgesetz.

[1]) O. LUMMER und E. PRINGSHEIM, Verh. dtsch. phys. Ges. **2**, 163 (1900).

[2]) M. PLANCK, ebenda **2**, 202 (1900).



Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Charlottenburg, den 24. Oktober 1900

Hochgeehrter Herr Professor!

Wie wir Ihnen in der D. P. G. mitgeteilt haben, gibt Ihre Formel

$$\mathcal{E} = \frac{C\lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1}$$

mit den kleinen Wellenlängen unsere Beobachtungen gerade so gut und 18 μ nicht besser wieder als die Ihrige. Die Abweichungen sind nach größeren, wenn man anstatt der Wellenlänge die einer Formel entnommene (durch Gleichung $\lambda_m T = 2940$) berechnet.

Wegen der kleinen Wellenlängen müssen Rechnungen gezeigt, daß folgende Formel:

$$\mathcal{E} = \frac{C\lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T}} + e^{-\frac{\alpha}{\lambda T}} - 1}$$

unsere Versuche vollkommen wiedergibt, sehr viel besser als die von uns angegebene Formel ($\mu = 4$; $\nu = 1,3$ (besonders am entsprechenden Ast).

Da diese Formel absolut die Form der beiden Grenzfälle enthält, so empfiehlt sie die Lummer-Pringsheimschen Versuche von Paschen und Warner-Pflüger, unsere Versuche von 1 μ bis 18 μ und die Beckmann'schen bez. die Kurlbaum-Rubens'schen Versuche.

Mit bestem Gruß Ihr ganz ergebenster E. Pringsheim, O. Lummer.

Gerichteter Schall.

Die theoretischen Grundlagen für das gerichtete Senden und Empfangen von Schallwellen und seine praktischen Anwendungen auf Probleme mit Schallausbreitung in freien Medien.

Von F. A. FISCHER, Kiel.

Im folgenden soll ein zusammenfassender Überblick über ein Gebiet der technischen Akustik gegeben werden, das in seinen praktischen Anwendungen in der Navigation und auf militärischem Gebiet, für Signalzwecke und Richtungshören, eine immer größer werdende Bedeutung gewinnt. Es sollen die theoretischen Grundlagen besprochen werden und vor allem die Grundgedanken und Hauptentwicklungslinien aufgezeigt werden. Es wird sich dabei zeigen, daß in vielen praktischen Fällen gerichtete Schallsendung oder -empfang nur unter Verwendung des *Gruppenprinzips* möglich ist. Man versteht hierunter den Ersatz eines einzigen Schallstrahlers durch mehrere einzelne. Die Erregung der zu einer Gruppe zusammengefaßten Sender oder Empfänger muß dabei conphas oder in ganz bestimmten Phasenbeziehungen geschehen. Dies ist mit rein akustisch arbeitenden Apparaten nur in wenigen Einzelfällen möglich. So scheiden für die Verwendung in einer Gruppe alle selbstgesteuerten Apparate, wie Pfeifen, Stentorhörner, Turbosirenen u. dgl., aus, und nur zwangsläufig gesteuerte Apparate, wie Motorsirenen und elektrisch erregte Membransender, sind verwendbar. Erst die Verknüpfung der Akustik mit der Elektrotechnik hat hier, wie auf vielen anderen Gebieten der technischen Akustik, zu technisch brauchbaren Lösungen der meisten praktischen Probleme geführt. Das Teilgebiet, das hier betrachtet werden soll, ist das gerichtete Senden und Empfangen von Schallwellen und seine praktischen Anwendungen auf solche Probleme, bei denen die Schallausbreitung in freien Medien stattfindet. An Anwendungsbeispielen können nur einige wenige typische gebracht werden. Dabei sollen vor allem auch solche ausgewählt werden, die nicht allgemein bekannt zu sein pflegen. Eine ausführliche Darstellung des hier Vorgetragenen findet sich im Handbuch der Experimentalphysik Bd. XVII/2, Kapitel 5.

Gerichtetes Senden und Empfangen von Schallwellen kann prinzipiell auf zwei verschiedene Weisen geschehen. Die erste Möglichkeit ergibt sich in enger Anlehnung an bekannte Anordnungen aus der Optik. Genau wie man mit einem Reflektor Licht gerichtet empfangen oder wie beim Scheinwerfer gerichtet senden kann, so kann man auch den Schall mittels Reflektoren gerichtet senden oder empfangen. Voraussetzung für das richtige Arbeiten dieser Apparate ist natürlich — genau wie in der Optik —, daß man nicht nur außerhalb, sondern auch innerhalb des Apparates überall mit Schallstrahlen rechnen darf. Hierzu ist bekanntlich erforderlich, daß die Ausdehnung dieser Reflektoren groß zur Wellenlänge des Schalles ist. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, so gelten nicht mehr die Gesetze der Strahlenoptik bzw. -akustik, sondern es treten Beugungserscheinungen auf, die das Verhalten des betreffenden Gebildes als Sender oder Empfänger stark verändern können.

Geräte mit Reflektoren sind in den letzten Jahren für die Richtungsbestimmung von Flugzeuggeräuschen entwickelt worden. Entsprechend dem oben Gesagten nimmt die Empfindlichkeit bei den tiefen Frequenzen, deren Wellenlänge mit der Ausdehnung des Reflektors vergleichbar ist, stark ab.

Für Frequenzen, deren Wellenlänge klein zum Durchmesser des Reflektors ist, läßt sich durch einfaches Drehen des Reflektors die Richtung durch Feststellung der maximalen Lautstärke bestimmen. Meist unterstützt man aber diese Richtungsbestimmungsmethode noch durch Ausnutzung des sog. Binauraleffektes, der durch das Hören mit beiden Ohren entsteht. Richtungshören in Luft wird ja ohne weiteres von jedem Menschen mittels seiner beiden Ohren ausgeführt, wenn er in beliebiger Lage zu einer Schallquelle die Richtung schätzt, unter der ein Schallstrahl zu ihm gelangt, oder wenn er den Kopf so lange dreht, bis die Schallquelle in seiner Medianebene zu stehen scheint. Die physikalischen Grundlagen dieses natürlichen Richtungshörens sind in den beiden Tatsachen zu suchen, daß die Impulse von beiden Ohren in dem als gemeinsames Anzeigeinstrument wirkenden Gehirn abhängig von der Richtung des einfallenden Schalles zeitlich nacheinander zur Wirkung kommen und daß jedes Ohr durch den Einbau in den menschlichen Kopf eine Richtcharakteristik hat. Die physiologische Grundlage des Richtungshörens mit beiden Ohren, das sog. binaurale Hören, beruht auf der Tatsache, daß die von den beiden Ohren in einem bestimmten zeitlichen Abstand zum Gehirn gelangenden Schallbilder in diesem Zentralorgan zu einem einzigen Schallbild vereinigt werden und daß dieser Zeitunterschied als Richtung gewertet wird. Die kleinste noch eben beobachtbare Zeitdifferenz tritt bei Abweichung der Schallquelle aus der Medianebene um etwa 3° auf und entspricht dem Wert von 3×10^{-5} sec. Da für die Flugzeugpeilung aber Genauigkeiten von etwa 0,5° verlangt werden, so müssen an Stelle der beiden menschlichen Ohren künstliche Schallabnehmer ins Schallfeld gesetzt werden, die hierfür einen Abstand von etwa 1,2 m haben müssen. Um sowohl den Höhen- wie den Seitenwinkel eines Flugzeuges zu finden, muß man zwei getrennte Apparaturen mit zwei verschiedenen Beobachtern vorsehen. Die erste Apparatur

für den Seitenwinkel ist um eine vertikale Achse drehbar und nimmt die zweite Apparatur für den Höhenwinkel, die um eine horizontale Achse drehbar ist, mit, genau so wie die Apparatur für den Höhenwinkel diejenige für den Seitenwinkel, entsprechend dem eingestellten Höhenwinkel, mehr oder weniger neigt. Die Anwendung des Binauraleffekts ist natürlich nicht auf Geräte mit Reflektoren beschränkt.

Wir wenden uns nun der zweiten Möglichkeit, Schall gerichtet zu senden und zu empfangen, zu, indem wir die Voraussetzung der Strahlenakustik fallen lassen und ganz allgemein die Frage aufstellen, wann überhaupt ein schallaufnehmendes bzw. -abgebendes Gebilde eine Richtwirkung hat, d. h. Schall aus einer bestimmten Richtung bevorzugt empfängt, aus anderen dagegen weit weniger oder gar nicht. Sendung und Empfang können dabei von der Theorie gemeinsam behandelt werden, da ausgestrahlte und empfangene Leistung eines beliebig gestalteten Strahlers nach dem gleichen Gesetz von der Richtung abhängen.

Die Abhängigkeit der ausgesandten Schallenergie von der Richtung kommt dadurch zustande, daß die von den einzelnen Teilen eines Strahlers ausgehenden Wellenzüge in einem betrachteten Punkte Phasenverschiebungen aufweisen, die für die verschiedenen Richtungen verschiedene Werte haben. Die Abhängigkeit des Empfanges von der Richtung der ankommenden Welle beruht auf der Tatsache, daß die einzelnen Teile eines Strahlers von der Welle zu verschiedenen Zeiten getroffen werden, also in verschiedener Phase erregt werden.

Es ist hiernach ohne weiteres klar, daß ein Strahler, dessen Ausdehnung klein zur Wellenlänge des auszusendenden oder aufzunehmenden Schalles ist, keine Richteigenschaften hat. Die Aufgabe, Schall gerichtet zu senden oder zu empfangen, läßt sich also mit einem Einzelstrahler nur lösen, wenn dieser groß zur Wellenlänge ist.

Schallaufnehmende oder -abstrahlende Flächen sind z. B. die Öffnung eines Trichters oder die in Fig. 1a gezeichnete große Membran. In dem Schallstrahl, der schräg auf die Membran auftreffen soll, sind die Zustände maximalen Druckes durch ausgezogene Linien, die Zustände niedrigsten Druckes durch gestrichelte Linien dargestellt. Die Wellenlänge sei kleiner als der Durchmesser der Membran. Nehmen wir nun an, die Membran sei nach hinten durch eine luftdichte Kapsel abgeschlossen, in der vor Eintreffen der Schallwelle etwa der gleiche Druck herrscht wie im Außenraum. Wenn dann die Schallwelle auf die Membran auftrifft, so werden diejenigen Luftteilchen, in denen Überdruck herrscht, versuchen, die Membran nach innen einzubeulen, während umgekehrt an denjenigen Stellen der Luft, in denen Unterdruck herrscht (gestrichelte Linien), die Membran von der Innenluft nach außen gedrückt wird. Wenn aber nun, wie in dem gezeichneten Beispiel der Fig. 1a, an den verschiedenen Stellen der Membran nicht derselbe Zustand der Luft herrscht, sondern teilweise Überdruck, teilweise Unterdruck, so wird im Mittel die Membran überhaupt keine Bewegung ausführen, sondern stillstehen.

Anders ist es, wenn die Schallwelle senkrecht zur Membran auftrifft. Dann wird an allen Stellen der Membran derselbe Zustand der Luft herrschen,

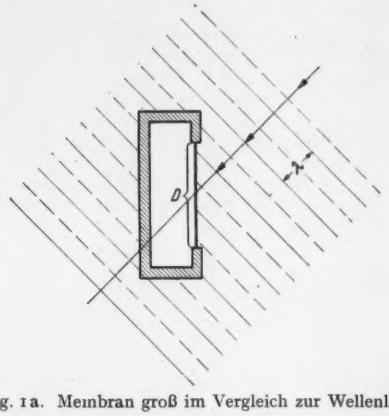


Fig. 1a. Membran groß im Vergleich zur Wellenlänge.

also entweder an allen Stellen Überdruck, der die Membran nach innen biegt, oder an allen Stellen Unterdruck, so daß die Membran nach außen gebogen wird. In diesem Fall wird also die Membran stark auf die Schallschwingungen reagieren. Die betrachtete Membran empfängt also Schall bevorzugt aus der Richtung senkrecht zu ihrer Ausdehnung, dagegen Schall der schräg auf sie trifft, weit weniger oder gar nicht.

Ist dagegen die Membran, wie in Fig. 1b gezeichnet, klein zur Wellenlänge, so herrscht auch bei schräg auftreffendem Schall praktisch an allen Teilchen der Membran derselbe Druckzustand der Luft, so daß diese Membran, die klein zur Wellenlänge ist, von schräg auftreffendem Schall genau so stark zum Ansprechen gebracht wird, wie von senkrecht auftretendem Schall, d. h. sie besitzt keine Richtwirkung.

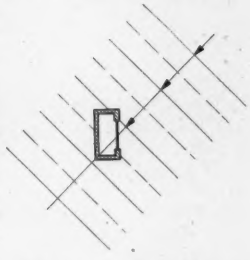


Fig. 1b. Membran klein im Vergleich zur Wellenlänge.

Eine Anwendung dieser Gesetzmäßigkeiten findet man bei den bekannten Trichterhorchgeräten für die Flugzeugpeilung. Ein Trichter ist physikalisch als eine große, durch seine Öffnung gegebene Luftmembran aufzufassen. Der eigentliche Trichter spielt nur die Rolle eines Transformators, um die große Öffnungsfläche an das kleine Ohr anzupassen. Auch bei den Trichterhorch-

geräten wird in derselben Weise wie bei den Reflektorhorchgeräten der Binauraleffekt angewandt.

Will man die Geräusche eines Flugzeuges peilen, so kommt man, da die in Frage kommenden Frequenzen zwischen etwa 200 und 600 Schwingungen pro Sekunde liegen, die Wellenlänge also in der Größenordnung eines Meters liegt, zu verhältnismäßig großen schallaufnehmenden Gebilden. Wenn man nun nach der oben beschriebenen Methode mit diesen Gebilden durch Drehen im Raum Richtungsbestimmung machen will, so kommt man zu verhältnismäßig großen Geräten, die sich in Luft noch bauen lassen, bei Wasserschallapparaten im strömenden Wasser aber zu große Hindernisse bedeuten, schwer zu bewegen sind und stark turbulente Bewegungen des Mediums in der Sender- bzw. Empfängernähe hervorrufen, die das Schallfeld stören können.

Es gibt jedoch die Möglichkeit, solche großen schallaufnehmenden Gebilde zu ersetzen durch

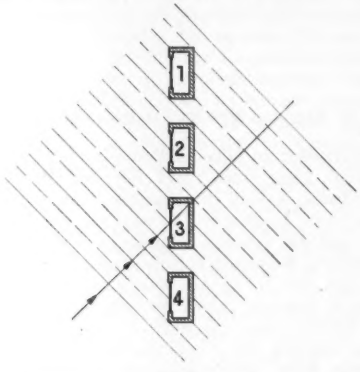


Fig. 2. Lineare Gruppe von Empfängern, die klein zur Wellenlänge sind.

eine *Gruppe* von mehreren kleinen Gebilden. Zu dieser Maßnahme wurde man in der Wasserschalltechnik schon vor vielen Jahren gezwungen, da es ja unmöglich ist, im Wasser vom fahrenden Schiff aus große drehbare Gebilde anzuwenden, zumal im Wasser wegen der etwa 4,5mal größeren Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles auch die Wellenlänge und damit die Dimensionen der schallaufnehmenden Gebilde bei den gleichen Richteigenschaften entsprechend größer sind als in der Luft.

Wenn man die schallaufnehmende Fläche der Fig. 1a durch mehrere kleine, wie in Fig. 2 gezeichnet, ersetzt und diese schallaufnehmenden Gebilde, die elektrischer Natur sein mögen, mit einem gemeinsamen Telefon verbindet, so hat diese Gruppe von Empfangsgebilden genau wie vorhin die große Membran eine Richtwirkung, und zwar ungefähr dieselbe wie die große Membran, wenn nur ihre Gesamtausdehnung groß gegen die Wellenlänge des Schalles ist. Es kommt also hier nicht mehr darauf an, daß das einzelne schallaufnehmende Gebilde eine Richtwirkung hat, man verwendet im Gegenteil meistens sogar als Einzelelement einer Gruppe schallaufnehmende bzw. -abgebende Gebilde, die so klein sind, daß sie selbst gar keine nennenswerte Richtwirkung haben. Die Gesamtheit dieser Elemente, die Gruppe, hat aber — wie oben auseinandergesetzt — für sich als Ganzes eine Richtwirkung, wenn ihre Gesamtausdehnung vergleichbar mit der Wellenlänge des Schalles ist.

Wir wenden uns nun der theoretischen Betrachtung der Richteigenschaften der Strahlergruppen zu. Dabei wird auch das Verständnis der Richteigenschaften der kontinuierlichen Strahlergebilde vertieft werden, da sich deren Richteigenschaften sehr einfach aus den Eigenschaften der Gruppen durch den Grenzübergang zu unendlich vielen Elementen ableiten lassen.

Als einfachstes Beispiel betrachten wir die in Fig. 3 dargestellte Gruppe aus zwei zur Wellenlänge kleinen Strahlern S_1 und S_2. Für die gezeichnete Sende- bzw. Empfangsrichtung beträgt die Phasen-

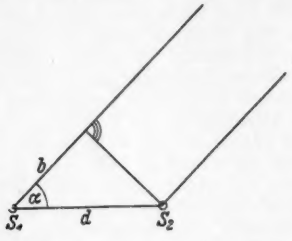


Fig. 3. Die Zweiergruppe.

verschiebung (der beiden ausgesandten Strahlen, wenn es sich um Sender handelt bzw. der beiden Erregungen, wenn es sich um Empfänger handelt),

$$\varphi = \frac{2\pi b}{\lambda} \tag{1}$$

oder, da $b = d\cos\alpha$ ist,

$$\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda}\cos\alpha\,. \tag{2}$$

λ ist hierbei die Wellenlänge des Schalles.

Setzt man der Einfachheit halber die Amplitude der beiden Strahler gleich $^1/_2$, so ist ihre Summe gegeben durch

$$\frac{1}{2}\cos\omega t + \frac{1}{2}\cos(\omega t+\varphi) = \cos\frac{\varphi}{2}\cdot\cos\left(\omega t+\frac{\varphi}{2}\right), \tag{3}$$

wenn ω die Kreisfrequenz der Strahlung ist.

Die Gesamtamplitude der Zweiergruppe ist also

$$R = \cos\frac{\varphi}{2} = \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda}\cos\alpha\right). \tag{4}$$

Man nennt diese Formel kurz die Richtcharakteristik der Gruppe. Sie läßt sich graphisch veranschaulichen, indem man vom Mittelpunkt der beiden Strahler für jede Richtung R als Vektor aufträgt. Die Endpunkte dieser Vektoren bilden

eine Fläche, und diese Fläche wird ebenfalls Richtcharakteristik genannt.

Die Betrachtung der Formel bestätigt das bereits aus der Anschauung gewonnene Ergebnis, daß die Richtcharakteristik der Zweiergruppe rotationssymmetrisch um die Verbindungslinie der beiden Strahler ist, und daß die Schnittkurve der Richtcharakteristik mit einer durch die Verbindungslinie der Strahler gehenden Ebene Maxima bei $\alpha = \pm 90°$ hat.

In Fig. 4 ist ein solcher Schnitt durch die Richtcharakteristik für den Strahlerabstand $d = \lambda/2$ gezeichnet.

Aus der Formel (2) für den Phasenunterschied der beiden Strahler sieht man, daß die Richtcharakteristik um so schärfere Maxima besitzen wird, je größer das Verhältnis $d:\lambda$ ist. Für diese Tatsache gibt es einen sehr anschaulichen Satz, der uns bei unseren weiteren Betrachtungen über die Eigenschaften von Strahlergruppen wertvolle Hilfe leisten wird.

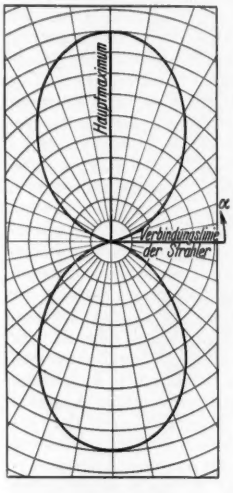


Fig. 4. Richtcharakteristik der Zweiergruppe mit $d/\lambda = 0{,}5$.

Entwickelt man die Formel (4) nach Potenzen der Abweichung ε der Strahlrichtung von der Richtung maximaler Strahlung, so erhält man die Reihe

$$R = 1 - \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \frac{\varepsilon^2}{2} + \cdots \quad (5)$$

Ein Maß für die Schärfe unserer Charakteristik erhalten wir, wenn wir nach jenem Winkel ε^* fragen, für den die Amplitude R der Gruppe um einen mit dem Indikator, z. B. dem menschlichen Ohr, feststellbaren Betrag gesunken ist. Da die Schallstärke dem Quadrat der Amplitude proportional ist, bilden wir

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \varepsilon^2 + \cdots \quad (6)$$

und finden für ε^* die Beziehung

$$\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \varepsilon^{*2} = 0{,}25\,. \quad (7)$$

Die Charakteristik ist um so schärfer, je kleiner ε^* ist. Es liegt daher nahe, als Schärfe der Charakteristik (auch Peilschärfe genannt) $1/\varepsilon^*$ zu definieren. Für die Zweiergruppen ist also in erster Annäherung

$$\frac{1}{\varepsilon^*} \infty \frac{\pi d}{\lambda}\,. \quad (8)$$

Die Peilschärfe ist also dem Verhältnis des Durchmessers der Gruppe zur Wellenlänge direkt proportional.

Ersetzt man nun nach H. STENZEL [Elektr. Nachr.-Techn. 6, 165—181 (1929)] jeden Strahler durch einen Massenpunkt, dessen Masse der Intensität ($= 1/2$) jedes Strahlers proportional ist, so ist das Trägheitsmoment dieses Punktsystems um die durch den Schwerpunkt gehende in der Maximalrichtung verlaufende Achse gegeben durch

$$T = \left(\frac{d}{2}\right)^2. \quad (9)$$

Es ist also

$$\frac{1}{\varepsilon^*} \infty \frac{\sqrt{T}}{\lambda}\,, \quad (10)$$

und wir erhalten den angekündigten Satz:

Die Peilschärfe ist in erster Annäherung der Quadratwurzel aus dem Trägheitsmoment der Gruppe,

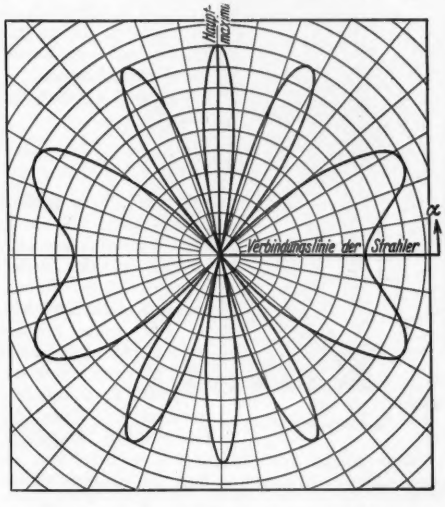


Fig. 5. Richtkennlinie der Zweiergruppe mit $d/\lambda = 2{,}25$.

um die durch den Schwerpunkt in der Maximalrichtung verlaufende Achse, direkt und der Wellenlänge umgekehrt proportional.

Man kann leicht zeigen, daß dieser Satz auch noch seine Gültigkeit behält, wenn mehrere Strahler in einer Ebene liegen und wenn die Strahler verschiedene Amplituden haben.

Versucht man nun auf Grund dieser Erkenntnis, bei der Zweiergruppe die Peilschärfe durch Vergrößerung des Verhältnisses $d:\lambda$ zu steigern, so erhält man z. B. für $d/\lambda = 2{,}25$ die in Fig. 5 dargestellte Charakteristik. Man sieht durch Vergleich mit Fig. 4, daß das Hauptmaximum, das senkrecht zur Verbindungslinie liegt, zwar schärfer geworden ist, daß aber noch weitere Maxima entstanden sind, die für die vorliegenden Verwendungszwecke unerwünscht sind. Eine nähere Betrachtung zeigt, daß die Richtung der Hauptmaxima von der Größe des Verhältnisses d/λ unabhängig ist, während die Richtung der Nebenmaxima von dem Verhält-

nis d/λ abhängen. Bei festem Strahlerabstand d zeigen also die zu verschiedenen Wellenlängen gehörenden Nebenmaxima nach verschiedenen Richtungen. Es sei hier auf die analogen Verhältnisse in der Optik hingewiesen. Die abgeleiteten Beziehungen sind die gleichen wie die bei der Beugung des Lichtes durch zwei enge Spalte. Das Hauptmaximum entspricht dem zentralen weißen Lichtfleck, die Nebenmaxima entsprechen den Spektren verschiedener Ordnung.

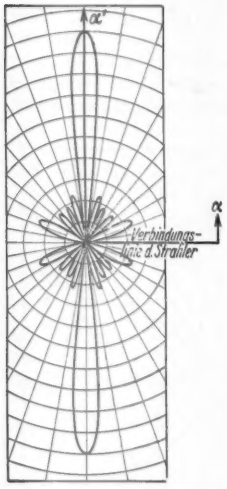


Fig. 6. Richtkennlinie der geraden Gruppe mit $d = {}^5/_6\,\lambda$ und $n = 6$.

Da wir uns hier nicht für die Spektren, sondern nur für die zentrale Strahlung interessieren, dürfen wir den Strahlerabstand im Vergleich zur Wellenlänge nur so groß wählen, daß keine Nebenmaxima auftreten.

Formel (4) lehrt, daß dann

$$\frac{d}{\lambda} \leqq \frac{1}{2} \qquad (11)$$

sein muß. Eine größere Richtschärfe als die in Fig. 4 gezeichnete läßt sich also mit der Zweiergruppe ohne Nebenmaxima nicht erreichen.

Will man größere Peilschärfen ohne sekundäre Maxima erreichen, so muß man mehrere Strahler in einer geraden Linie anordnen.

Eine solche Anordnung von n Strahlern im gegenseitigen Abstand d hat die Charakteristik

$$R = \frac{\sin\left(n\frac{\pi d}{\lambda}\cos\alpha\right)}{n \cdot \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda}\cos\alpha\right)}, \qquad (12)$$

eine aus der Theorie der Beugungsgitter in der Optik wohlbekannte Formel.

Auch hier darf natürlich der Strahlerabstand nicht beliebig groß im Vergleich zur Wellenlänge sein. Aus Formel (12) folgt, daß

$$d \leqq \frac{n-1}{n}\lambda \qquad (13)$$

sein muß, wenn keine Nebenmaxima von der Größe des Hauptmaximums vorhanden sein sollen.

In Fig. 6 ist die Richtcharakteristik der geraden Gruppe mit $d = {}^5/_6\,\lambda$ und $n = 6$ dargestellt. Die kleinen Nebenmaxima brauchen hier nicht diskutiert zu werden, da ihre Größe stets kleiner, allenfalls gleich $^1/_3$ der Größe des Hauptmaximums ist, die entsprechende Schallstärke also höchstens nur etwa 11% von der des Hauptmaximums ausmacht.

Die bisher betrachteten Charakteristiken sind in hervorragendem Maße dazu geeignet, Schall in einer Ebene und nur in dieser auszusenden. Sie finden daher im Signalwesen weitgehende Anwendung, wo es sich darum handelt, Schall nur in der Horizontalebene auszusenden. Eine Aussendung auch in andere Richtungen wäre Energieverschwendung, da sich dort keine Empfänger befinden.

Die für navigatorische Zwecke gebräuchliche Wasserschall-Senderanlage besteht im allgemeinen aus zwei vertikal übereinander angeordneten Doppelmembransendern mit vertikal stehenden Membranen, deren Ebenen gekreuzt zueinander angeordnet sind, um den etwa noch vorhandenen Betrag an Richtwirkung auszugleichen. In Fig. 7 ist eine solche Anlage zu sehen. Die beiden Doppelmembransender sind mit 1 und 2 bezeichnet. An Bord von Feuerschiffen wird diese Sendergruppe in einem Schacht an einer Kette mehrere Meter unterhalb des Schiffsbodens hinabgelassen. Der ringförmige Wulst 3 in Fig. 7 dient zur Führung in diesem Schacht. Die Erregung der Sender geschieht nach dem elektromagnetischen Prinzip.

Die Signalsender für Schiffe, die nicht wie die Feuerschiffe zu Anker liegen, sondern fahren und oft — wie Zerstörer und Kreuzer — mit sehr großen Geschwindigkeiten, werden in Geräten untergebracht, die aus dem Schiffsboden nach unten ausgefahren werden und einen stromlinienförmigen Querschnitt haben. Diese Einbauart befreit die Anlage von dem Schatteneinfluß des eigenen Schiffskörpers und gestattet, sich weitgehendst der schallzerstörenden Wirkung des Schraubenwassers beim Signalverkehr in der Kiellinie zu entziehen. Die Anzahl der Senderelemente in einem Ausfahrgerät hängt neben der Frequenz und der gewünschten Form der Richtcharakteristik in hohem Maße von der Frage der Unterbringungsmöglichkeit und der Kosten ab. Je nach Schiffsgröße schwankt die Zahl im allgemeinen zwischen 2 und 6 Elementen. In Fig. 8 ist ein Ausfahrgerät mit 6 Senderelementen abgebildet. Die Senderelemente sind in dieser Figur deutlich am unteren Ende des Trägers 1 erkennbar, der pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch in den im Schiffsinnern befindlichen Teil 2 eingezogen werden kann, wenn das Gerät außer Betrieb ist. Der Schiffsboden befindet sich an der Stelle 3 der Figur.

Die Sender werden zweckmäßig als Doppelmembranapparate gebaut, so daß das aus den Befestigungsflanschen der beiden Membranen gebildete Gehäuse eine natürliche Symmetrie- und Knotenlinie für die Schwingungen bildet. Infolgedessen führt das Gehäuse selbst keine Schwingungen aus, was für den Einbau dieser Sender in ihre Träger von großem Vorteil ist.

Auch für Luftschall wird das Gruppenprinzip mit Vorteil angewandt. Ein einzelner Luftschallsender ist jedoch etwas komplizierter im Bau als ein Wasserschallsender. Einfache Membranen lassen sich nämlich nicht verwenden, da wegen der

geringen Dichte der Luft und der geringeren Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in Luft der dem Produkt dieser beiden Größen proportionale Strahlungswiderstand zu klein ist. Man ist daher gezwungen, die Membran unter Vermittlung von Gebilden an die Luft zu koppeln, die selbst eine große Strahlungsdämpfung haben. Schallantennen dieser Eigenschaft findet man nur in Gebilden, die störenden Interferenzen, indem man an den Sender einen Schallschirm in Form einer starren Röhre anbaut, die also nur an den Stellen der Ringschlitze, die die Austrittsöffnungen des Schalles sind, unterbrochen ist. Derartige Apparate lassen sich dann leicht zu geraden Gruppen zusammensetzen. Auf diese Weise gelingt es, mit einer Gruppe von Apparaten, deren Größe keineswegs

Fig. 7. Wasserschallsender-Zweiergruppe.

Fig. 8. Ausfahrgerät mit 6 Wasserschallsender-Empfängern.

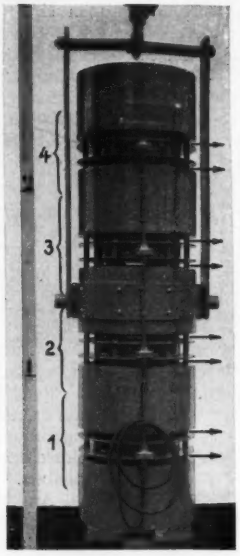


Fig. 9. Luftschallsender-Vierergruppe.

aus keinem anderen Baustoff bestehen, als die schallaufnehmende Luft selbst. Ein solches Gebilde ist z. B. eine offene Pfeife. Diese wird zweckmäßig auf die zu strahlende Frequenz abgestimmt, also im einfachsten Fall ein Viertel Wellenlänge lang gemacht. Dadurch ist es natürlich nicht mehr möglich, den Einzelsender klein zur Wellenlänge zu bauen. Man erreicht aber das Ziel der gleichmäßigen Beschallung des ganzen Horizontes dadurch, daß man ihn zur Vertikalen rotationssymmetrisch baut. Ein einzelner Doppelsender hat also als Schallaustrittsöffnung zwei ringförmige Schlitze im Abstand der Apparatdicke, die klein zur Wellenlänge gehalten werden kann. Der Durchmesser des Senders wird also gleich der halben Wellenlänge. An sich würde, wie aus der Betrachtung der Zweiergruppe (streng einer Kreisgruppe mit unendlich vielen Elementen) gefolgert werden kann, ein solcher Sender hauptsächlich in der Vertikalen und nur wenig in der Horizontalen strahlen, da sich für die horizontalen Richtungen die Strahlungen der einzelnen Öffnungselemente durch Interferenz aufheben. Man vermeidet diese gegen die Wellenlänge vernachlässigt werden kann, die Aufgabe zu lösen, Schall gleichmäßig im ganzen Umkreis mit dem Maximum der Lautstärke in der Horizontalebene bei praktisch verschwindender Lautstärke in der Vertikalen auszustrahlen.

Die äußere Ansicht eines solchen aus vier Doppelapparaten aufgebauten Gruppensenders ist aus Fig. 9 zu erkennen und nach dem vorher Gesagten ohne weitere Erklärungen verständlich. Auf der linken Seite der Figur sind durch vier Klammern die vier einzelnen Gruppenelemente markiert und auf der rechten Seite durch Pfeile die Schallaustrittsöffnungen. Die Erregung des Apparates geschieht nach dem elektromagnetischen Prinzip.

Der in Fig. 9 dargestellte Gruppensender ist für 500 Perioden gebaut. Die Energieaufnahme jedes Elements ist etwa 800 Watt, die erzeugte Schallleistung jedes Elements etwa 500 Watt, also die Schalleistung der ganzen Gruppe etwa 2000 Watt. Da diese Schallenergie auf etwa ein Viertel des Raumes zusammengefaßt wird, so entspricht die Lautstärke in der Horizontalen derjenigen eines ungerichteten Einzelsenders von 8000 Watt ge-

strahlter Schalleistung. Man ersieht an diesem Beispiel deutlich die große Leistungsersparnis, die das gerichtete Senden mit sich bringt.

Man kann auch den Schall in einer einzigen Richtung zusammenfassen. Setzt man alle Strahler in die Eckpunkte eines regelmäßigen Vielecks, so erhält man eine Charakteristik von der in Fig. 10 gezeichneten Form. Sie ist rotationssymmetrisch um die senkrecht zur Kreisebene liegende Maximalrichtung. Diese Gruppen sind von H. STENZEL in seiner bereits oben genannten Arbeit eingehend untersucht. Er hat gefunden, daß keine Nebenmaxima von der Größenordnung des Hauptmaxima auftreten, wenn die Strahlerzahl

$$n \geqq \frac{\pi D}{\lambda} + 2 \qquad (14)$$

ist, wo D der Durchmesser des Umkreises des Vielecks ist.

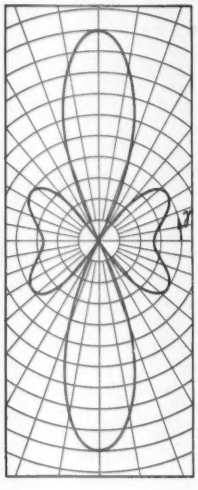


Fig. 10. Die natürliche Richtcharakteristik des Kreises

$$\frac{D}{\lambda} = 1{,}5$$

mit $n \geqq \frac{\pi D}{\lambda} + 2$.

Die kleinen dann noch verbleibenden Nebenmaxima sind in ihrer Amplitude kleiner, allenfalls gleich 0,4, machen also nur höchstens 16% der Lautstärke des Hauptmaximums aus und können daher außer Betracht bleiben.

Aus Symmetriegründen hat die Charakteristik zwei Maxima, die einander gegenüber liegen. Man kann aber mit Hilfe eines Kunstgriffes mit derartigen Kreisgruppen auch einseitige Charakteristiken erzeugen. Setzt man zwei Kreisgruppen im Abstand einer viertel Wellenlänge hintereinander und gibt außerdem der Erregung der einen gegen die andere eine Phasenverschiebung von 90°, so besitzt die Charakteristik der gesamten Anordnung nur ein einziges Maximum, das nach derjenigen Seite zeigt, nach der die in der Phase nacheilend erregte Kreisgruppe liegt.

Fig. 11 zeigt einen nach diesem Prinzip gebauten Luftschallsender. Er ist um eine vertikale Achse drehbar angeordnet, so daß der Sendestrahl in beliebige Richtungen gedreht werden kann. Derartige Schallstrahlwerfer eignen sich besonders zur Sicherung von Hafeneinfahrten.

Bei dem letzten Gerät haben wir nun schon eine Anordnung kennengelernt, deren Charakteristik nicht nur von der geometrischen Anordnung der einzelnen Sendeelemente abhängt, sondern auch noch von den Phasenverschiebungen der einzelnen Elemente. Von dieser Veränderungsmöglichkeit der Richtcharakteristik macht man beim Horchwesen weitgehendst Gebrauch. Es gelingt nämlich ganz allgemein, die Richtung, aus der der Schall bevorzugt empfangen wird, im Raume herumzuschwenken, ohne daß die Gruppe selbst im Raum gedreht wird. Das Gruppenprinzip gibt also die Möglichkeit des Richtungsbestimmens mit einer

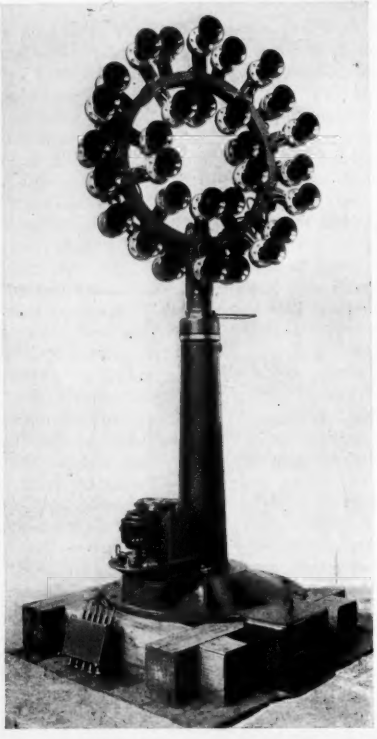


Fig. 11. Luftschallsender mit einseitiger Richtcharakteristik.

fest im Raume stehenden Gruppe von Einzelempfängern. Dieses Ziel erreicht man auf folgende Weise:

Betrachten wir wieder den Fall des schräg zu der Gruppenausdehnung eintreffenden Schallstrahles in Fig. 2. (Die Betrachtungen für das Aussenden von Schall sind ganz analog.) Wenn der Schallstrahl die dort gezeichnete Einfallsrichtung hat, so wird der Empfänger 1 zuerst getroffen, dann der Empfänger 2, dann der Empfänger 3 und schließlich als letzter der Empfänger 4. Die gesamten auf die einzelnen Empfänger eintreffenden Schallimpulse oder bei einer kontinuierlichen Welle die Druck- oder Unterdruckzustände treffen die Empfänger also zu verschiedenen Zeiten oder, wie man auch sagt, die einzelnen Empfänger werden

in verschiedenen Phasen erregt, und es wird im Mittel eine im Vergleich zur Intensität im Zustand der Gleichphasigkeit äußerst geringe Gesamtintensität herauskommen. Will man nun auf künstliche Weise erreichen, daß trotzdem die aus dieser Richtung kommenden Schallimpulse gleichzeitig das schallaufnehmende Ohr erreichen, so macht man das folgendermaßen:

Man schaltet in die Zuleitung vom Empfänger 1 nach dem Ohr ein zeitverzögerndes Element, ebenso in die Zuleitung der Empfänger 2 und 3. Die Länge dieser zeitverzögernden Elemente bemißt man derart, daß sie die die einzelnen Empfänger treffenden Impulse jeweils so verzögern, daß sie erst dann das Ohr erreichen, wenn der letzte Empfänger, nämlich der Empfänger 4, von der Schallwelle getroffen wird. Es erhält also der Empfänger 1 die längste Verzögerung, der Empfänger 2 eine weniger lange usw. und schließlich der Empfänger 4 gar keine. Die Verzögerung z. B. des Empfängers 2 entspricht der Laufzeit der Schallwelle vom Empfänger 2 bis zu dem letzten Empfänger 4. Wenn man das gemacht hat, so wird für diese eine Einfallsrichtung des Schalles, nämlich für die gezeichnete schräge, eine Addition aller Impulse, d. h. maximale Empfangslautstärke erreicht sein. Natürlich wird jetzt nicht mehr die Richtung senkrecht zu der Gruppe bevorzugt empfangen, sondern eben diese schräge Richtung, für die die Verzögerungswerte richtig eingestellt sind.

Wir sehen also, daß man durch richtige Bemessung dieser Verzögerungswerte die bevorzugte Schallempfangsrichtung im Raum drehen kann, während die Empfängergruppe selbst fest im Raum stehen bleibt.

Als schallverzögernde Mittel kann man bei akustischen Empfängern Schallrohre nehmen. Da das Arbeiten mit diesen Schallrohren sehr umständlich ist und sie zu vielen Störungen und Fehlern Anlaß geben, arbeitet man in der modernen Akustik beim Gruppenprinzip nur noch mit elektrischen Empfängern und verwendet dabei als schallverzögernde Mittel elektrische Kettenleiter. Der Apparat, der die Länge dieser Kettenleiter in Abhängigkeit von der Ankunftsrichtung des Schalles schaltet, heißt Kompensator, weil er nämlich die Aufgabe hat, die Zeitverzögerungen, die die einzelnen Schallempfänger hinsichtlich der Ankunftsrichtung der Schallwelle gegeneinander haben, zu kompensieren.

Für die mit derartigen Gruppen herstellbaren „künstlichen" Charakteristiken gelten ähnliche Gesetze wie für die zu Anfang dieses Berichtes gebrachten „natürlichen" (das soll heißen nur von der geometrischen Anordnung abhängigen) Charakteristiken. Für die Peilschärfe gilt auch hier der Satz vom Trägheitsmoment, nur daß jetzt als Achsrichtung die Kompensationsrichtung, in die ja das Maximum fällt, genommen werden muß. Will man also für Schiffe eine Horchanlage bauen, die die ganze Horizontalebene mit gleicher Schärfe nach Schraubengeräuschen anderer Schiffe absucht, so wird man am besten eine kreisförmige Gruppe von Empfängern nehmen, die in der Horizontalebene liegt, denn der Kreis hat ja von allen hinreichend weit von ihm entfernten Punkten seiner

Fig. 12a. Wasserschallkompensator.

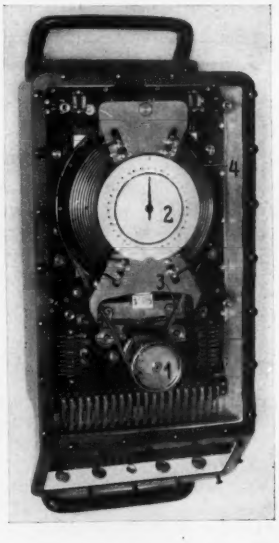


Fig. 12b. Wasserschallkompensator (Gehäusedeckel abgenommen).

Ebene aus betrachtet dieselbe Ausdehnung. An Bord von Schiffen muß man sich natürlich weitgehendst den Schiffsformen anpassen. Aus dem idealen Kreis werden dann im allgemeinen zwei halbellipsenähnliche Figuren von Empfängern, von denen je eine an Backbord und Steuerbord liegt. Man muß aber unbedingt vermeiden, daß die Halbellipsen allzu starken Liniencharakter bekommen, da die Peilschärfe nach dem Satz vom Trägheitsmoment sonst gerade in der militärisch überaus wichtigen Vorausrichtung am ungenauesten wird. Außerdem ist die Peilung mit einer Linie an sich doppeldeutig, da, wie man sich an Hand der Fig. 2 leicht klarmachen kann, die Phasenunterschiede und damit die Kompensatorstellung für alle Richtungen, die mit der Linie den gleichen Winkel einschließen, die gleiche ist.

Als Bedingung für die Besetzung einer Gruppe zur Erzielung der Freiheit von Nebenmaxima erhält man ähnliche Beziehungen wie bei den zu Anfang betrachteten natürlichen Charakteristiken. Nur ist hier infolge der bereits vorhandenen künstlichen Phasenverschiebung nur ein etwa halb so großer Empfängerabstand zulässig wie für die entsprechende natürliche Charakteristik. So tritt an Stelle der Formel (13) die Formel

$$d \leqq \frac{n-1}{2n}\lambda \qquad (15)$$

und an Stelle der Formel (14) für den Kreis die Formel

$$n \geqq \frac{2\pi D}{\lambda} + 2\,. \qquad (16)$$

Die auf dem Gruppenprinzip beruhende Peilmethode mit feststehenden Empfängern im Schallfeld hat den Vorteil, daß die eigentliche Peilapparatur, der Kompensator und der Beobachter selbst räumlich beliebig getrennt und von dem Punkt des Schallfeldes, von dem aus die Peilung genommen werden soll, untergebracht sind.

Es ist gleichgültig, ob die einzelnen Empfänger in verschiedenen Horizontalebenen liegen oder nicht, da es bei einer vertikalen Wellenfront nur auf die Horizontalprojektion der Empfänger ankommt.

Fig. 12a—b zeigt einen Wasserschallkompensator. Fig. 12a ist die Außenansicht. Durch Drehen des Handrades 1 läßt sich die Kompensationsrichtung verändern. Die jeweilige Richtung ist an der darüber befindlichen Skala 2 abzulesen.

Betrachten wir rückblickend noch einmal die technischen Lösungen für das gerichtete Senden und Empfangen von Schall, so sehen wir, daß mit ganz wenigen Ausnahmen nur das Gruppenprinzip ohne bzw. mit künstlicher Phasenverschiebung zu technisch brauchbaren Lösungen der verschiedenen von der Nautik oder von militärischer Seite gestellten Probleme geführt hat. Die Anwendung des Gruppenprinzips mit und ohne Kompensation war aber auf rein akustischem Wege kaum in praktisch brauchbarer Form lösbar. Erst die Verknüpfung der Akustik mit der Elektrotechnik hat die Konstruktion technisch brauchbarer Geräte ermöglicht.

Charakterisierung und Mechanismus der Krebs erzeugenden Kohlenwasserstoffe.

Von OTTO SCHMIDT.

„Die Art der Wirkung kanzerogener Stoffe ist eines der grundlegenden Probleme der Krebsforschung" (1). In keinem anderen Falle erscheint die Aussicht, dieses Problem zu lösen, so groß, wie in dem der krebserzeugenden Kohlenwasserstoffe, die wir im folgenden kurz K.K. nennen. Denn einmal sind die K.K. einfache, wohldefinierte Substanzen, nämlich kondensierte Aromaten — meist Anthracenderivate — von zum Teil höchster Wirksamkeit, andererseits sind insbesondere durch die Arbeiten von KENNAWAY (2), COOK (3), FIESER (4) u. a. eine Fülle von Verbindungen der Anthracen- und Phenanthrengruppe bekannt geworden. Sie sind teils aktiv, in der Mehrzahl aber inaktiv, so daß sich der Einfluß der Konstitution aus diesem Material ableiten läßt. Trotzdem ist bisher eine Charakterisierung der K.K. von anderer Seite nicht gegeben worden, die naturgemäß die Grundlage für die Erkenntnis des Mechanismus der Entstehung des Krebses durch die K.K. ist.

Vor einiger Zeit habe ich die K.K. durch die *Dichteverteilung* bestimmter Valenzelektronen (B-Elektronen) charakterisiert und in der beträchtlichen Dichte der B-Elektronen an bestimmten Stellen das Hauptmerkmal der K.K. gefunden (5). Ich möchte hierüber im Zusammenhang kurz berichten und die Überlegungen gleichzeitig fortsetzen.

Wir teilen mit E. HÜCKEL (6) die Valenzelektronen der Aromaten in 2 Gruppen ein: in die in einfachen Bindungen unterzubringenden, die wir A-Elektronen nennen, und die nicht in einfachen Bindungen unterzubringenden, die wir B-Elektronen nennen; von letzteren ist je aromatisches Kohlenstoffatom eines vorhanden, im Benzol sind also deren sechs. Da sie locker gebunden sind, machen wir sie für die chemischen und die meisten physikalischen Eigenschaften der Aromaten wie Farbe (7), diamagnetische Anisotropie (8) und insbesondere die kanzerogenen Eigenschaften der K.K. verantwortlich (5). Daß dies letztere richtig ist, ergibt sich daraus, daß *durch Hydrieren mit den B-Elektronen auch die kanzerogenen Eigenschaften verschwinden.* Nach COOK besitzt insbesondere das an den beiden Mesokohlenstoffatomen hydrierte 1,2,5,6-Dibenzanthracen nur noch eine sehr geringe kanzerogene Wirkung, während das nichthydrierte Produkt bekanntlich ein kräftig aktiver K.K. ist. Es ist wahrscheinlich, daß dieser geringe Rest von Aktivität auf einer geringfügigen Dehydrierung im Organismus beruht.

Wenn wir die äußeren Bedingungen, wie dies bei der Prüfung der K.K. geschieht, gleich wählen und damit die Variationsmöglichkeiten bei der Adsorption ausschalten (9), dann ist die einzig neue Art der Dichteerhöhung der B-Elektronen die der Substitution des Aromaten durch einen indifferenten Kohlenwasserstoffrest, dessen Raumerfüllung größer ist als die des Wasserstoffatoms. Durch diese Substitution wird der den B-Elektronen zur Verfügung stehende Raum *verkleinert*. Bei genügender Substitution wird der *Schwellenwert des K.K.* erreicht. Die „kritische Dichteerhöhung", die den unwirksamen Aromaten zum K.K. macht, kommt in den Anthracenderivaten durch Substitution an den Mesokohlenstoffatomen oder in ihrer unmittelbaren Nähe zustande. Einer solchen Substitution ist gleichzusetzen der Ersatz eines äußeren Benzolkerns im Anthracen durch einen Naphthalinkern, da in der aromatischen Reihe die mittlere Dichte der B-Elektronen kontinuierlich ansteigt, im Naphthalin also höher ist als im Benzol, und die Wellen- und damit auch die Dichtefunktionen am Rande eines Kernes nicht verschwinden, so daß sie noch einen Beitrag zur Dichte des Mittelraumes liefern. Die Stellen an den Mesokohlenstoffatomen der Anthracenreihe nennen wir die *aktiven Stellen des K.K.* Sie sind, wie die analogen Stellen bei den Phenanthrenderivaten, dadurch gekennzeichnet, daß eine *Zweiergruppe* von B-Elektronen vorliegt, die auch chemisch durch große Reaktivität ausgezeichnet ist. Ihre Dichte ist bereits im Anthracen beträchtlich.

Mit der Dichteerhöhung geht Hand in Hand die *Steigerung der Nullpunktsenergie*, damit verbunden ist eine *Erniedrigung der Anregungsenergie*, die sich in einer *Verringerung der Aktivierungswärme und in einer Rotverschiebung der Ultravioletbanden* äußert, wie ich dies an zahlreichen Beispielen nachgewiesen habe (10). Hiernach besitzen die K.K. eine besonders niedrige Anregungsenergie und große Rotverschiebung in ihrer Gruppe (10).

Durch eine vor kurzem erschienene Arbeit von NORMAN JONES über Ultraviolett-Absorptionsspektren der 1,2-Benzanthracenreihe (11), die mit Unterstützung von L. F. FIESER ausgeführt wurde, haben diese Ergebnisse eine experimentelle Bestätigung erfahren. Es zeigte sich, daß ganz entsprechend obigen Überlegungen die typischen K.K., wie Methylcholanthren, 9,10-Dimethyl-1,2-benzanthracen, Benzpyren, von allen untersuchten Derivaten des 1,2-Benzanthracens die stärkste Rotverschiebung aufweisen.

Wenn es somit als feststehend betrachtet werden muß, daß die K.K. entsprechend ihrer erheblichen Rotverschiebung eine niedrigere Anregungsenergie besitzen als die inaktiven Vertreter der gleichen Gruppe, so erscheint es doch auf den ersten Blick kaum möglich, wegen der Kleinheit der in Frage kommenden Energiedifferenzen Schlüsse auf den Reaktionsmechanismus zu ziehen. Diesen Standpunkt nimmt auch NORMAN JONES ein. In der Tat entspricht der stärksten Rotverschiebung in der 1,2-Benzanthracenreihe von 95 Å zwischen dem inaktiven 1,2-Benzanthracen und seinem 9,10-Dimethylderivat nur eine Differenz der Anregungsenergien von 3155 cal, was sehr wenig ist. Und doch kann eine solch kleine Differenz bei den Aktivierungswärmen die Reaktionsgeschwindigkeit langsam verlaufender Prozesse in entscheidender Weise beeinflussen. Zu dieser Art von Prozessen gehört auch der Krebsprozeß, insbesondere dann, wenn es sich um die Zufuhr relativ niedrigwertiger Energie handelt. Dies zeigt sich besonders deutlich beim gewöhnlichen Hautkrebs; er entsteht fast nur an den dem Licht ausgesetzten Hautpartien; die Krankheit ist am häufigsten bei den Bevölkerungsgruppen, die berufsmäßig ihre Haut besonders lange und besonders intensiv dem Tageslicht aussetzen, wie dies bei Bauern und Seeleuten der Fall ist. Alle diese Faktoren: Länge der Zeit, Intensität der Strahlung, Ausdehnung der bestrahlten Fläche, erhöhen die Wahrscheinlichkeit der krebserregenden Veränderung; der Krebs tritt hier meist erst nach einer Reihe von Jahren ein. Für normale Menschen unter den üblichen Lebensbedingungen, bei denen die Haut nie lange der intensiven Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, ist die Gefahr, durch Tageslicht Hautkrebs zu bekommen, sehr gering.

Diese Erfahrungen übertragen wir nun auf die K.K. Das violette Spektrum des Tageslichts endet bei etwa 3900 Å, also gerade da, wo das Absorptionsspektrum der K.K. beginnt. Dem größten Teil des Wellenbereichs des Tageslichts entspricht also eine wesentlich kleinere Energie. Hierauf ist es wohl zurückzuführen, daß zur Entstehung des Hautkrebses eine erheblich längere Zeit erforderlich ist als zu dem mit Hilfe des K.K. erzeugten Krebses; hier beträgt die Latenzperiode bei Anwendung der aktivsten K.K. 15—20 Wochen gegenüber vielen Jahren im ersten Falle. Man wird die Aktivierungsenergie auf etwa 3 bis 3,5 eV schätzen. Bei den kondensierten Aromaten ist weiter die Möglichkeit vorhanden, daß manche Verbindungen uns bloß deshalb als inaktiv erscheinen, weil die Latenzzeit größer ist als die Lebensdauer der Versuchstiere. Sei z. B. k_1 die Geschwindigkeitskonstante von 1,2-Benzanthracen beim Krebsprozeß, k_2 die seines 9,10-Dimethylderivats, Δ die Differenz der Aktivierungswärmen, die wir der der Anregungsenergien gleichsetzen wollen, und untersuchen wir die Einwirkung bei Bluttemperatur, also bei rund 310° abs., so ist:

$$k_1/k_2 = e^{-\Delta/620} = 1/162\,.$$

Nehmen wir an — was meistens zutrifft — die Reaktionsgeschwindigkeit ließe sich durch das Schema einer monomolekularen Reaktion wiedergeben:

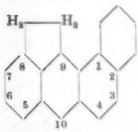
$$k = 1/t \ln a/(a-x)$$

und wählen wir in beiden Fällen x gleich einem bestimmten Bruchteil von a, so verhalten sich die Geschwindigkeitskonstanten umgekehrt wie die Zeiten, d. h. die Reaktionsgeschwindigkeit ist im

zweiten Falle 162mal größer, so daß zu erwarten ist, daß der Krebs in einer dementsprechend kürzeren Zeit auftritt. Reduzieren wir die Rotverschiebung auf etwa die Hälfte, auf 45 Å, so haben wir im 10-Methyl-1,2-benzanthracen einen recht aktiven K.K., dessen Reaktionsgeschwindigkeit immer noch 12mal größer ist als die des Grundkörpers (12). Das erscheint recht befriedigend.

Nun ist zweifellos die Erniedrigung der Anregungsenergie, die sich in der Rotverschiebung äußert, nicht das einzige Erfordernis für das Zustandekommen eines kanzerogenen Stoffes. Das ergibt sich schon daraus, daß das 10-Isopropyl-1,2-benzanthracen trotz starker Rotverschiebung, weiter das 10-n-Butyl-1,2-benzanthracen, dessen Rotverschiebung nicht gemessen, die aber sicher gleich der der Isopropylverbindung, wenn nicht größer ist, keine kanzerogenen Eigenschaften besitzen, während das 10-Methyl-1,2-benzanthracen ein stark, das 10-Äthyl-1,2-benzanthracen ein mäßig aktiver K.K. ist. Der Grund für diese Erscheinung liegt auf der Hand: es ist die dem Organiker so geläufige *sterische Hinderung*. Wie ich bereits früher hervorhob (13), ist es notwendig, daß die aktiven Stellen des K.K. nahe an die umzuwandelnden Substanzen herankommen, da die zwischenmolekularen Kräfte rasch mit der Entfernung abnehmen; in unserem Falle sind die aktiven Stellen die Mesokohlenstoffatome des Anthracengerüstes. Sperrige Substanzen in der Nähe dieser Stelle verringern oder verhindern daher die kanzerogene Aktivität.

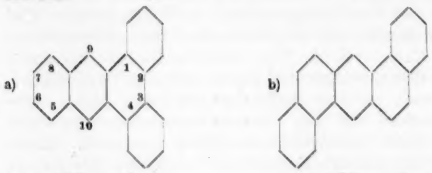
Auf sterische Hinderung ist offenbar auch das Verschwinden der Aktivität von 8,9-Ace-1,2-benzanthracen bei Einführung einer Methylgruppe in die der 8-Stellung benachbarte Stellung 7 zurückzuführen (Fig. 1). Man wird erwarten, daß diese wegen der Nachbarstellung der Acegruppe, die ihrerseits wieder der 1,2-Benzgruppe benachbart ist, aus der Molekülebene herausgedrängt wird.



8, 9-Ace-1, 2-benzanthracen

Fig. 1.

Die B-Elektronen der K.K. der 1,2-Dibenzanthracenreihe lassen sich, wie die aller anderen K.K., in Zweier-, Sechser- (Benzol-) und Zehner- (Naphthalin-) Gruppen unterbringen. Die Reihenfolge 2, 6, 10 erinnert hierbei an die Schalenbesetzung im periodischen System mit 2, 8, 18 Elektronen. Die Differenz ist auf den ausgesprochen flachen Bau der Aromaten zurückzuführen. Sowohl die Untersuchungen von E. HÜCKEL mit Hilfe der Störungsrechnung (14) wie die meinigen mit Hilfe des Kastenmodells (15) ergeben für die Besetzungszahlen von 2, 6, 10-B-Elektronen abgeschlossene Systeme, die sich offenbar auch im größeren Komplex eines kondensierten Aromaten mehr oder weniger erhalten. Von diesen ist die Zweiergruppe die reaktivste und daher wichtigste. Alle wirksamen K.K. enthalten Zweiergruppen, die einfachen 1,2-Benzanthracene eine, das Benzpyren deren zwei (16). Bei Abwesenheit einer Zweiergruppe fehlt der kanzerogene Charakter. So läßt sich das 1,2,3,4-Dibenzanthracen (Fig. 2a) nur in eine Zehner- und zwei Sechsergruppen aufteilen, es ist inaktiv, während das aus zwei Zehner- und einer Zweiergruppe bestehende 1,2,5,6-Dibenzanthracen (Fig. 2b) ein K.K. mittlerer Aktivität ist.



1, 2, 3, 4-Dibenzanthracen 1, 2, 5, 6-Dibenzanthracen

Fig. 2.

Endlich ist für den K.K. auch eine gewisse Beständigkeit und Diffusionsfähigkeit erforderlich; der K.K. bleibt ja lange Zeit den chemischen Einflüssen der Zelle unterworfen, ehe ihm ein „Treffer" gelingt; allzu große Reaktivität würde ihn daher vorzeitig, z. B. durch Oxydation, zerstören. Daß auch eine gewisse Diffusionsfähigkeit erforderlich ist, liegt ja schon in seiner Anwendung begründet, denn der K.K. muß ja bei seiner subcutanen Injektion aus der Öl- oder Fettemulsion in das Gewebe wandern. Durch alle diese Bedingungen wird die Zahl der K.K. erheblich eingeschränkt.

Wir charakterisieren also den K.K. im wesentlichen durch seine relativ *leichte Anregbarkeit*. Die niedrigste Energie, die benötigt wird, entspricht einem Wellenbereich um etwa 3900 Å, liegt also um 3,2 eV. Es ist wahrscheinlich, daß diese Anregungsenergie bei der Adsorption an Körpersubstanz noch weiter erniedrigt wird, wie dies O. WARBURG beim Alloxazin gezeigt hat (17). Da im angeregten Zustand ungekoppelte Valenzelektronen vorhanden sind, diese aber, wie KEEVIL in einer Reihe von Arbeiten gezeigt hat (18), Elektronenaffinität besitzen, *so beruht hiernach die Wirksamkeit des K.K. auf der Elektronenaffinität seines relativ leicht herstellbaren angeregten Zustandes, der den Quantensprung im Nachbarmolekül erniedrigt;* ein solches Molekül sei z. B. ein Eiweißmolekül im Zellverband.

Der niedrigste Quantensprung in einer Eiweißkette ist der eines B-Elektrons einer Doppelbindung; solche sind in der Hauptsache in den CO-Gruppen, also zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff, vorhanden. Der angeregte K.K. überträgt hiernach seine Anregung auf die eines B-Elektrons einer CO-Gruppe einer Eiweißkette.

Nun aber besagt die Spaltungsregel (19), daß die im reagierenden Molekül neben einer mehrfachen Bindung stehende einfache Bindung verstärkt, die darauffolgende Bindung geschwächt wird und daß sich dieser Wechsel von starker und schwacher Bindung mit abnehmender Intensität durch das Molekül fortsetzt. In der Gruppe der

Eiweißkette: $\overset{1}{NH}—\overset{2}{CO}—\overset{3}{CH}(R)—\overset{4}{NH}—\overset{5}{CO}$ sind nun im Grundzustand eine Reihe von solch schwachen Bindungen vorhanden: die $\overset{3}{C}$—H-, $\overset{1}{N}$—H-, $\overset{3*}{C}$—R- und die $\overset{3}{C}—\overset{4}{N}$-Bindung. Ihre Bindungsfestigkeit ist verschieden. Da die Wasserstoffatome besonders leicht beweglich sind, wird an den Bindungen, an denen diese beteiligt sind, zuerst eine Sprengung unter Platzwechsel und Bildung der Gruppierungen *b* und *c* gemäß folgendem Schema eintreten (20):

	a	*b*	*c*
1	NH	NH	N
2	CO	C—OH	C—OH
3	*CHR	CR	*CHR
4	NH	NH	NH
5	CO	CO	CO

Im Schema bedeutet das Sternchen in *a* und *c* ein asymmetrisches Kohlenstoffatom. Man sieht, daß in *b* das asymmetrische Kohlenstoffatom verschwunden ist; bei der Rückverwandlung von *b* in *a* kann also der optische Antipode entstehen. Wie KÖGL und ERXLEBEN festgestellt haben (21), sind nun die Aminosäuren der Eiweißkette, die normalerweise der l-Reihe angehören, im Tumorgewebe teilweise racemisiert; dies gilt auch für Tumoren, die mit Hilfe der K.K. entstanden sind (22). Wir haben also die Reaktionsfolge:

$$a^- \longrightarrow b \longrightarrow a^+$$

Der Übergang $a \longleftrightarrow c$ wird von GRASSMANN und SCHNEIDER (23) bei der Reaktion der Dipeptidase angenommen; zu Racemisierung führt er nicht, da das asymmetrische Kohlenstoffatom unverändert bleibt.

Außer den obigen Umlagerungen, die auf intermediärer Sprengung einer C—H- bzw. einer N—H-Bindung beruhen und besonders leicht eintreten, können aber auch noch andere Bindungen, wie die obengenannten C—R- und C—N-Bindungen, gesprengt werden; weiter ist in Formel *b* (s. o.) die *Bindung* $\overset{4}{N}—\overset{5}{C}$ *geschwächt;* die Spaltung an dieser Stelle führt zu Aminosäureresten, während der hydrolytische Abbau, die wichtigste biologisch bekannte Reaktion dieser Art, zu den freien Aminosäuren führt. Bei den zahlreichen Umwandlungen, die das Zelleiweiß erleidet, z. B. bei der Bildung der argininreichen Eiweißkörper der Geschlechtsorgane auf Kosten der argininarmen Skelettmuskulatur des Lachses, ist aber der Weg über die radikalischen Reste um mehrere Reaktionsstufen kleiner als der über die freien Aminosäuren.

Bei der Einwirkung der K.K. sind diese und ähnliche Reaktionsfolgen nicht gesteuert, und darin liegt ihre Gefahr für den Organismus. So können neue virulente krebserzeugende Eiweißverbindungen (Virusarten) entstehen, wie das Virus des Rous-Sarkoms, oder es zerfällt das Zelleiweiß unter Bildung nekrotischen Gewebes. Hierfür sind wohl in erster Linie die Spaltungen von N—C-, C—N- und vielleicht auch C—C-Bindungen verantwortlich zu machen. Dagegen erscheint die Gefährdung des Organismus durch Racemisierung weniger groß. Jedenfalls kann Gefährdung ohne Racemisierung eintreten, denn wie SCHRAMM und MÜLLER gezeigt haben, gehören die Aminosäuren des Tabakmosaikvirus alle der l-Klasse an, sind also normal (24).

Es erscheint daher wahrscheinlich, daß die Bösartigkeit der Krebsgeschwulst in erster Linie auf die Umwandlungen zurückzuführen ist, die das Eiweißmolekül durch die letztgenannten Spaltungen erleidet, die sich auf Grund der Spaltungsregel ergeben. Die hierzu nötige Aktivierungsenergie wird vom angeregten K.K. durch den angegebenen Mechanismus auf das Eiweißmolekül übertragen.

Die Krebskohlenwasserstoffe sind nur eines der vielen Mittel, um Krebs zu erzeugen; von den chemischen sind es freilich die wirksamsten; aber auch die anderen chemisch wirksamen Stoffe, wie Arsenverbindungen, Chlorzink, Alkalien, enthalten elektronenaffine Gruppen, wie die Halogene in dissoziierbarem Zustand, Sauerstoff und wahrscheinlich auch Arsen. Wie alle diese elektronenaffinen Gruppen und Atome Quantensprünge von Valenzelektronen bewirken oder erleichtern, so ist dies auch bei den wichtigsten physikalischen Mitteln, Radium-, Röntgen-, Neutronen-, ultraviolette Strahlen, in manchen Fällen Tageslicht, der Fall. Die Frage, die K. H. BAUER ungefähr folgendermaßen formuliert hat (25): „Wie sind alle diese exogenen Faktoren bei der Geschwulstbildung auf einen Generalnenner zu bringen?" läßt sich also dahin beantworten, daß sie alle einen angeregten Zustand in der Zelle erzeugen, der ihre Mutation zur Krebszelle erleichtert. Daß dies ein angeregter Zustand eines Eiweißmoleküls ist, erscheint wahrscheinlich und ist in den vorstehenden Ausführungen angenommen worden.

Ein wesentliches Mittel bei der Bekämpfung des Krebses wird daher die Prophylaxe liefern. Man wird sich vor der *langdauernden* Einwirkung solcher Agenzien zu hüten haben, die wie der Staub arsenhaltiger Mineralien den Lungenkrebs, das Anilin in Dampfform den Blasenkrebs, das Nikotin unter anderem den Zungenkrebs, das 4-Dimethylamidoazobenzol (Buttergelb) den Leberkrebs erzeugen. Die Zahl dieser Substanzen wird sich sicher vermehren lassen, und eine systematische Untersuchung dieser und anderer schädigender Agenzien erscheint geboten, wie dies ja auch an vielen Stellen geschieht. Auch Eugenik spielt wahrscheinlich eine wichtige Rolle, denn wir wissen aus dem Tierversuch, daß einzelne Stämme besonders anfällig sind.

Im vorstehenden Bericht wurde versucht, das Ergebnis von zum Teil umfangreichen Arbeiten

über die Charakterisierung der K.K. und den Mechanismus ihrer Wirkung kurz zusammenzufassen und weiterzuführen. Daß dies nicht lückenlos erreichbar ist, liegt in der Natur der Sache; insbesondere war es nicht möglich, die theoretische Grundlage der ganzen Überlegungen, das *Kastenmodell* und seine wellenmechanische Behandlung näher zu besprechen. Hierüber liegt indes bereits ein zusammenfassender Bericht vor, auf den verwiesen sei (26).

Literatur: (1) W. R. Earle u. C. Voegtlin, J. of Canc. **34**, 373 (1938). — (2) E. L. Kennaway u. J. Hieger, Brit. med. J. **1**, 1044 (1930). — E. L. Kennaway u. N. M. Kennaway, Acta internat. Union against Canc. **2**, 101 (1937). — (3) J. V. Cook, Zahlreiche Veröffentlichungen, insbesondere Ber. dtsch. chem. Ges. (A) **69**, 38 (1936). — (4) L. F. Fieser, Zahlreiche Veröffentlichungen, insbesondere Amer. J. Canc. **34**, 37 (1938). — (5) O. Schmidt, Z. physik. Chem. B **42**, 83 (1939). — (6) E. Hückel, Z. Physik **70**, 204 (1931) — Z. Elektrochem. **43**, 752, 827 (1937). (7) O. Schmidt, Z. physik. Chem. B **39**, 78ff. (1938); **42**, 94ff. (1939). — (8) O. Schmidt, Z. physik. Chem. B **47**, 1 (1940). — (9) Durch Adsorption tritt Dichteerhöhung ein. — (10) O. Schmidt, Z. physik. Chem. B **47**, 23 (1940); B **42**, 98ff. (1939). — (11) R. Norman Jones, J. amer. chem. Soc. **62**, 148 (1940). — (12) Bezgl. der Berechnungen vgl. O. Rice, Free radicals. S. 152 (Faraday Soc. **1933**). — (13) O. Schmidt, Z. physik. Chem. B **42**, 102 (1939). — (14) E. Hückel, l. c. S. 212ff. — (15) O. Schmidt, Z. physik. Chem. B **39**, 78 (1938); **44**, 191 (1939). — Naturwiss. **26**, 444 (1938). — (16) O. Schmidt, Z. physik. Chem. B **42**, 98 (1939). — (17) O. Warburg, Erg. Enzymforsch. **7**, 224 (1938). — (18) N. B. Keevil, J. amer. chem. Soc. z. B. **59**, 2104 (1938). — (19) O. Schmidt, Z. Elektrochem. **43**, 853 (1937). — (20) O. Schmidt, Z. physik. Chem. B. **44**, 194 (1939). — (21) F. Kögl u. H. Erxleben, H.-S., Z. physiol. Chem. **258**, H. 2 u. 3 (1939). — (22) F. Kögl, H. Erxleben u. H. Erker, H.-S., Z. physiol. Chem. **263**, 107 (1940). — (23) W. Grassmann u. F. Schneider, Erg. Enzymforsch. **5**, 104 (1936). — (24) G. Schramm u. H. Müller, Naturwiss. **1940**, 223/24. — (25) K. H. Bauer, Mutationstheorie der Geschwulstentstehung 1928, S. 54. — (26) O. Schmidt, Ber. dtsch. chem. Ges. **73** (A), 97 (1940).

(Anschrift des Verfassers: Dr. Otto Schmidt, Ziegelhausen bei Heidelberg, Schönauer Str. 16a.)

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Eine neue Aktivitätszone der Sonnenkorona.

Die Beobachtungen der Korona im kontinuierlichen Licht bei Finsternissen zeigten, daß die Koronastrahlen nicht wie die photosphärischen und chromosphärischen Erscheinungen auf bestimmte Breitenzonen beschränkt sind, sondern in allen Breiten (Positionswinkeln) auftreten können. Die Photometrierung von Finsternisaufnahmen zeigt ferner, daß die Isophoten sehr kreisähnlich sind. Ein wesentlich anderes Verhalten zeigen die monochromatischen Koronabeobachtungen im Lichte der Emissionslinien, wie sie vom Verfasser ohne Finsternis ausgeführt werden. Schon die ersten Beobachtungen[1]) zeigten, daß die Intensität der grünen Koronalinie 5303 Å (die übrigen Emissionslinien verhalten sich ähnlich) ihre Maxima in der Fleckenzone hat, am Äquator und in höheren Breiten gering ist und in der Polarzone verschwindet, also eine ausgesprochene zonale Verteilung besitzt. Eine neuere Untersuchung[2]) zeigte dann, daß die Linienemissionen (5303 Å und 6374 Å) in 60—65° Breite häufig sekundäre Maxima (Strahlen) zeigen, die allerdings weniger intensiv sind als diejenigen in der Fleckenzone. Seither wurde vom 27. September bis 14. Oktober 1940 weiteres Beobachtungsmaterial erhalten, das die neue Aktivitätszone bei etwa 63° Breite ebenfalls sehr deutlich zeigt, womit die Existenz der neuen Zone gesichert ist. Tabelle 1 zeigt die Breitenverteilung der während der Beobachtungsperiode im Herbst 1940 beobachteten 119 Intensitätsmaxima (Strahlen) der Linie 5303 Å. Die neue Aktivitätszone hat eine Ausdehnung in Breite von nur etwa 5°; ihre mittlere Breite betrug im Herbst 1940 63° und hat sich seit Anfang 1939 nicht merklich geändert. Dagegen betrug die mittlere Breite der Hauptmaxima anfangs 1939 14,8°, im Herbst 1940 nur noch 12,1°, worin die Wanderung der Hauptzone mit der Fleckenzone zum Ausdruck kommt. Die neue Aktivitätszone bei 63° zeigt sich weder in photosphärischen noch in chromosphärischen Erscheinungen, sondern ist nur der Korona eigen; deshalb wird es auch erst möglich sein, etwas über das Verhalten der 63°-Zone während des 11jährigen Zyklus auszusagen, wenn sich unsere Beobachtungen über einen vollen Zyklus erstrecken werden.

Arosa (Schweiz), Observatorium der Eidgenössischen Sternwarte Zürich, den 27. Januar 1941.

M. Waldmeier.

[1]) M. Waldmeier, Z. Astrophys. **19**, 21 (1939).
[2]) M. Waldmeier, Z. Astrophys. **20**, 172 (1940).

Tabelle 1. Verteilung monochromatischer Koronastrahlen nach heliographischer Breite.

Heliographische Breite	0 bis 5	5 bis 10	10 bis 15	15 bis 20	20 bis 25	25 bis 30	30 bis 35	35 bis 40	40 bis 45	45 bis 50	50 bis 55	55 bis 60	60 bis 65	65 bis 70	70 bis 75	75 bis 80	80 bis 85	85 bis 90
Zahl der Koronastrahlen	10	22	16	17	12	8	8	2	3	1	1	2	12	3	1	1	0	0

Phosphoreszenzumwandlung durch Sauerstoff.

Sehr viele fluoreszierende, aromatische Verbindungen phosphoreszieren, wenn ihre Moleküle assoziiert und energetisch genügend isoliert sind[1]). Besonders günstige Bedingungen hierfür sind in evakuierten Adsorbaten derartiger Verbindungen gegeben. Fügt man einem Adsorbat während des Abklingens seiner Phosphoreszenz Sauerstoff hinzu, so leuchtet es kurz und hell in der Farbe der Fluoreszenz auf. Bezeichnen wir mit ε_1 die Energie des fluoreszenzverursachenden, kurzlebigen Anregungszustandes, mit ε_2 die des phosphoreszenzverursachenden, langlebigen Zustandes, dann ist gesetzmäßig immer $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$. Ist die Energiedifferenz $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$ nicht zu groß, so kann die Phosphoreszenz auch thermisch in die Fluoreszenz übergeführt werden.

Besonders rein sind die Versuchsbedingungen bei der Verwendung eines hochvakuierten Adsorbates von Triphenylpyryliumchlorid an Silikagel ($2{,}5 \cdot 10^{-5}$ Mol auf 10 g Si-Gel) bei tiefer Temperatur (—80 bis —180°). Sauerstoff verwandelt seine gelbgrüne Phosphoreszenz mit hellem Aufblitzen in die blaue Fluoreszenz. Bei dieser Wechselwirkung zwischen Sauerstoff und ε_2-Zuständen wird Sauerstoff nicht meßbar verbraucht; ein auffälliges Verhalten im Vergleich mit anderen Farbstoffen. Das belichtete Triphenylpyryliumchlorid wirkt nur als Sensibilisator für eine Aktivierung des Sauerstoffs[2]):

$$\varepsilon_2 + O_2 \rightarrow O_2^{\varepsilon} + (\varepsilon_2 - \varepsilon).$$

Der aktivierte Sauerstoff kann durch adsorbierte Sauerstoffacceptoren, wie Schwefelwasserstoff oder Allylthioharnstoff, abgefangen werden, ohne daß dadurch das fluoreszenzgleiche Aufleuchten des Adsorbats beeinflußt wird. Demnach

liefert weder eine Oxydation noch O_2^{ε} die Energie für das Aufleuchten.

Nach dem Inhalt der letzten vier Sätze vermag allein der nach der Wechselwirkung mit Sauerstoff im Farbstoff verbleibende Energiebetrag $(\varepsilon_2 - \varepsilon)$ die für das Aufleuchten nötige Energie zu geben. Seine Wirkung kann die sein, einen noch unberührten ε_2-Zustand auf einen ε_1-Zustand zu erhöhen. Das ist möglich, wenn

$$(\varepsilon_2 - \varepsilon) \geqq (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \text{ ist.}$$

Diese Bedingung scheint den Ergebnissen nach bei den meisten Stoffen erfüllt zu sein. Im Hinblick darauf, daß Sauerstoff in Wechselwirkung mit ε_2-Zuständen aktiviert wird und damit gleichzeitig weitere ε_2-Zustände in fluoreszenzemittierende ε_1-Zustände übergehen, also mindestens zwei oder mehrere ε_2-Zustände an dem Leuchtmechanismus beteiligt sind, formulieren wir, ohne ins einzelne zu gehen oder eine genaue Energiebilanz aufzustellen, die Phosphoreszenzumwandlung in einfachster Form folgendermaßen:

$$\varepsilon_2 \rightarrow h\nu_2 \text{ (Phosphoreszenz)}$$
$$2\,\varepsilon_2 + O_2 \rightarrow \varepsilon_1 + O_2^{\varepsilon}$$
$$\varepsilon_1 \rightarrow h\nu_1 \text{ (Fluoreszenz).}$$

Nachdem der aktive Sauerstoff O_2^{ε} keine Energie dem Emissionsort mitteilt, kann der zur Fluoreszenz führende Energieaustausch nur zwischen Farbstoffmolekülen innerhalb der Grenzfläche stattfinden. Zwischen diffus adsorbierten, fixierten Molekülen ist ein solcher Austausch nicht möglich. Es müssen irgendwie zusammenhängende Bereiche adsorbierter Farbstoffmoleküle vorhanden sein, innerhalb welcher sich die Lumineszenzumwandlung abspielt.

Solche Bereiche können voraussichtlich nur oberhalb einer gewissen begrenzenden Mindest-Konzentration adsorbierter Moleküle auftreten, und die Wahrscheinlichkeit, gleichzeitig mehrere ε_2-Zustände in einem Bereich vorzufinden, wird von der Intensität und Dauer der Phosphoreszenzerregung abhängen.

Die Versuche bestätigen diese Voraussicht: Erregt man die Phosphoreszenz normaler Adsorbate mit sehr geringen Lichtintensitäten oder Adsorbate sehr geringer Farbstoffkonzentration mit hohen Lichtintensitäten, so wirkt in beiden Fällen Sauerstoff nur auslöschend auf die abklingende Phosphoreszenz, ohne ihre Umwandlung in das fluoreszenzfarbige Aufleuchten zu verursachen. Unter den gleichen Bedingungen gelingt aber die Phosphoreszenzumwandlung noch sehr schön bei Zuführung äußerer Energie durch plötzliches Erwärmen der phosphoreszierenden Adsorbate. Dieser Prozeß ist in bezug auf die ε_2-Zustände eben nur einquantig.

Die Phosphoreszenzumwandlung durch Sauerstoff ist eine beinahe ebenso häufige Erscheinung, wie die Phosphoreszenz aromatischer Verbindungen selbst. In ihrer Art und Auswirkung sind die hier in Erscheinung tretenden Bereiche polar adsorbierter, assoziierter Moleküle grundverschieden von den besonders eigenartigen SCHEIBEschen lockeren Farbstoffkomplexen[3]) der Polymethinfarbstoffe.

Leipzig, Chemisches Laboratorium der Universität, den 19. Februar 1941. H. KAUTSKY. G. MÜLLER.

[1]) H. KAUTSKY u. H. MERKEL, Naturwiss. **27**, 195 (1939) — Diss. H. MERKEL, Leipzig 1940.
[2]) H. KAUTSKY, Biochem. Z. **291**, 271 (1937).
[3]) G. SCHEIBE, Angew. Chem. **52**, 631 (1939).

Besprechungen.

Handbuch der analytischen Chemie. Herausgegeben von R. FRESENIUS und G. JANDER. III. Teil: **Quantitative Bestimmungs- und Trennungsmethoden.** Band I a. Elemente der ersten Hauptgruppe (einschl. Ammonium). Lithium, Natrium, Kalium, Ammonium, Rubidium, Caesium. Bearbeitet von E. BRENNECKE, F. BUSCH, L. FRESENIUS, R. FRESENIUS. XV, 404 S. u. 31 Abbild. Band II a. Elemente der zweiten Hauptgruppe. Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Barium, Radium und Isotope. Bearbeitet von F. BUSCH, O. ERBACHER, K. LANG, A. SCHLEICHER, G. SIEBEL, F. STRASSMANN, M. STRASSMANN-HECKTER, K. E. STUMPF, C. TANNE, B. WANDROWSKY. XI, 446 S. mit 13 Abbild. 17 cm × 25 cm. Berlin: Julius Springer 1940. Preis: Bd. I a geh. RM 51.—, geb. RM 54.—; Bd. II a geh. RM 57.—, geb. RM 60.—.

Das Erscheinen eines Handbuchs der analytischen Chemie muß das Interesse eines jeden anorganischen Chemikers erwecken. Man begrüßt es in der Erwartung, endlich eine willkommene Ergänzung des unentbehrlichen Gmelin zu erhalten.

Jeder forschende Chemiker, der im Laufe seiner Untersuchungen Analysen ausführen mußte, die aus dem Rahmen der üblichen Wald- und Wiesenanalysen herausfielen, wird gleich mir bisher einen solchen Helfer in der Not, wie es ein wirklich erschöpfendes Handbuch der analytischen Chemie sein soll, schwer vermißt haben. Darunter verstehe ich in voller Übereinstimmung mit den Herausgebern ein Werk, das nicht nur die zahllosen Ergebnisse analytischer Forschung bis zur Gegenwart sammelt, sondern dieselben auch kritisch wertet und damit dem Leser Arbeit spart. Es ist ein großer Vorteil eines Handbuchs, das ein Produkt vieler Mitarbeiter ist, daß diese wohl zumeist Spezialisten auf dem von ihnen bearbeiteten Gebiete sind und daher auch berechtigterweise ihr Teilgebiet kritisch behandeln können. Möglichste Vollständigkeit des behandelten Materials bei verständnisvoller, d. h. sachverständiger Sichtung und Anordnung desselben, das sind die Hauptforderungen, die man an ein solches Handbuch stellen muß.

In dem vorliegenden Werk scheinen diese Forderungen erfüllt zu werden, dafür bürgen auch schon die Namen der sehr sachverständigen Herausgeber, R. FRESENIUS und G. JANDER, die zahlreiche Fachvertreter als Mitarbeiter um sich gesammelt haben.

Das sehr groß angelegte Werk ist in vier Teile gegliedert, von denen der 1. die allgemeine Methodik, der 2. die qualitative Analyse, der 3. die quantitativen Bestimmungs- und Trennungsmethoden und der 4. spezielle Verfahren behandeln wird. Jeder Teil soll den sachlichen Erfordernissen entsprechend mehrere Bände umfassen. Erschienen sind bisher 2 Bände des III. Teils, welche die quantitative Analyse der Elemente der I. bzw. der II. Hauptgruppe enthalten entsprechend dem Grundsatz, daß die einzelnen Elemente in der Reihenfolge des periodischen Systems behandelt werden sollen.

Die Durchsicht dieser beiden Bände hinterläßt einen durchaus günstigen Eindruck und berechtigt zu der Hoffnung, daß hier ein Standardwerk im Entstehen begriffen ist, das berufen scheint, eine schmerzlich empfundene Lücke unserer chemischen Literatur in dankenswerter Weise auszufüllen.

Die Behandlung des Stoffes ist so eingeteilt, daß bei jedem Element in einer Einleitung zunächst sämtliche Bestimmungsmöglichkeiten nach den verschiedenen quantitativen Methoden, die Gewichtsanalyse, Maßanalyse und die diversen physikalisch-chemischen Methoden umfassen, aufgezählt werden, worauf die Eignung der wichtigsten Verfahren gewertet und schließlich die Auflösung des Analysenmaterials besprochen wird. Dann folgt die ausführliche Besprechung der einzelnen Verfahren in sehr übersichtlicher und ausführlicher Weise, so daß man, abgesehen von besonderen Fällen, zumeist die Originalliteratur wird entbehren können.

Das Werk ist, wie alle Handbücher dieses Verlages, ausgezeichnet ausgestattet, sehr schön gedruckt, die im Text verstreuten Zeichnungen mit aller Sorgfalt

sauber und präzis ausgeführt und, was ein besonderer Vorzug ist, fachmännisch richtig, so daß mancher liebe Leser aus den Abbildungen lernen kann, daß ein zweckmäßig gebauter Apparat auch gefällig aussehen kann. Die einzelnen Bände sind auf einen Umfang von etwa 400 Seiten beschränkt und dadurch sehr handlich, ein nicht zu unterschätzender Vorteil gegenüber den unhandlichen Wälzern anderer Handbücher.

Es wäre nur zu wünschen, daß wenigstens die jüngere Generation der jetzt tätigen Analytiker die Vollendung dieses verdienstvollen Unternehmens erlebt und daß demselben das Schicksal so mancher neuerer Handbücher der anorganischen Chemie, die unvollendet veralten, erspart bleiben möge. Junge Kräfte sind am Werk und haben dabei die Führung, und deshalb wage ich es, ihm ein günstiges Prognostikon zu stellen. O. HÖNIGSCHMID.

Annual Review of Biochemistry, Volume VIII. Herausgegeben von J. M. LUCK und J. H. C. SMITH. IX. 676 S. und 2 Abbild. 15 cm × 23 cm. Stanford University Press 1939, California. Preis $ 5.—.

Der 8. Band der Sammlung „Annual Review of Biochemistry" wurde mit derselben Freude begrüßt wie seine Vorgänger, die überall unentbehrlich geworden sind. Da es immer schwerer wird, alle in einem Berichtsjahr erschienenen Veröffentlichungen auf dem Gebiet der ständig wachsenden biologischen Chemie zu erfassen und kritisch zu verarbeiten, tritt im vorliegenden Band stärker als in den letzten das Bestreben hervor, Übersichten über bestimmte Gebiete und Themen zu geben, in denen unter dem vom Verfasser vertretenen Gesichtspunkt die wichtigsten Ergebnisse, Probleme und Arbeitsziele kritisch dargeboten werden. Dem Referenten scheint darin ein begrüßenswerter Fortschritt zu liegen, denn mit der früher in manchen Beiträgen zutage getretenen kurzen Aufzählung von Publikationsergebnissen ohne irgendeine kritische Würdigung ist dem Leser meist nicht ausreichend gedient, und an Referatenorganen solcherart fehlt es nicht. Dem 8. Band des „Annual Review of Biochemistry" steht erstmalig ein ähnliches Unternehmen auf dem Gebiet der Physiologie zur Seite. Durch die Möglichkeit, im „Annual Review of Physiology" einige Gebiete unterzubringen, die bisher im biochemischen Teil erschienen, ist eine erfreuliche Konzentration auf diejenigen Themen erzielt worden, deren Schwerpunkt im Gebiet der Chemie liegt. Beide Unternehmungen ergänzen sich vorzüglich.

Von den Beiträgen im vorliegenden Band sind besonders die Übersichten hervorzuheben, die einen ausgezeichneten Einblick in die Fragen der modernen Eiweißchemie bieten: „The Chemistry of Proteins and Amino Acids" von A. TISELIUS, „Proteolytic Enzymes" von K. LINDERSTRØM-LANG, „X-Ray Studies of the Structure of Compounds of Biological Interest" von W. T. ASTBURY, und „Immunochemistry" von M. W. CHASE und K. LANDSTEINER. Der Abschnitt „Biological Oxidations and Reductions" von M. DIXON läßt die großen Fortschritte erkennen, die in der Charakterisierung der hier angreifenden Enzyme in den letzten Jahren erzielt wurden; er wird aufs beste ergänzt durch die Betrachtung über „Nonproteolytic Enzymes" von K. MYRBÄCK. Erfreulichen Aufschwung haben — besonders durch die Verwendung von isotopen und radioaktiven Elementen als Bausteine physiologisch wichtiger Verbindungen — unsere Kenntnisse vom Stoffwechsel erfahren; davon geben mehrere Abschnitte über den tierischen Stoffwechsel Kenntnis. Der Lipoidstoffwechsel wurde von W. M. SPERRY, der Eiweißstoffwechsel von R. W. JACKSON und J. P. CHANDLER, der Kohlehydratstoffwechsel von I. L. CHAIKOFF und A. KAPLAN behandelt, ihre Darstellungen finden eine Ergänzung durch die Übersichten „The Chemistry and Metabolism of the Compounds of Sulfur" von G. MEDES und „Mineral Metabolism: Calcium, Magnesium and Phosphorous" von D. M. GREENBERG, und besondere Erwähnung verdient der Aufsatz „Metabolism of Brain and Nerve" von J. H. QUASTEL. H. R. MARSTON hat einen begrüßenswerten Beitrag zur Ernährung der Wiederkäuer geliefert, dessen Gegenstand erstmalig behandelt wurde und der besonders durch die Betrachtung der für die Ernährung mancher Wiederkäuer notwendigen Elemente (z. B. Kobalt oder Kupfer) Interesse verdient. Selbstverständlich fehlen nicht die allgemeinen Übersichten über Hormone (von J. FREUD, E. LAQUEUR und O. MÜHLBOCK), wasserlösliche Vitamine (von C. G. KING) und fettlösliche Vitamine (von E. M. NELSON und C. D. TOLLE). Der Pflanzenchemie sind die Aufsätze „Mineral Nutrition of Plants" von J. W. SHIVE und W. R. ROBBINS und „Growth Hormones in the Higher Plants" von F. W. WENT gewidmet. Spezielle Fragestellungen behandeln die Kapitel „Choline as a Dietary Factor" von C. H. BEST und J. H. RIDOUT und „Chemical Aspects of Photosynthesis" von H. GAFFRON, letzterer besonders wichtig und lesenswert durch die Kennzeichnung der gegenwärtig auf diesem Gebiet auftretenden Problemstellungen. Einige physiologisch wichtige Stoffklassen finden ihre Behandlung in folgenden Beiträgen: „Polysaccharides and Lignin" von K. FREUDENBERG, „The Chemistry of the Acyclic Constituents of Natural Fats and Oils" von R. J. ANDERSON und L. F. SALISBURY, „The Alkaloids" von L. SMALL und „Animal Poisons" von C. H. KELLAWAY.

A. BUTENANDT, Berlin-Dahlem.

SOÓ V. BERE, R., **Vergangenheit und Gegenwart der pannonischen Flora und Vegetation.** [Nova Acta Leopoldina, N. F. 9, Nr 56 (1940).] Halle: Verlag der Deutschen Akademie der Naturforscher 1940. 49 S., 3 Textfig., 10 Taf. 19 cm × 25 cm. Preis: brosch. RM 7.—.

Pflanzengeographisch nimmt Ungarn eine besondere Stellung ein, ist die von den Karpathen umrahmte Ebene doch oft zum Pontischen Steppengebiet gerechnet worden. Dies lehnt Verf. ab. Die von ihm gebotene Entwicklungsgeschichte der pannonischen Vegetation beginnt mit dem Ausgang der Tertiärzeit, als deren Relikt u. a. das berühmte Vorkommen von Nymphaea lotus gedeutet wird. Reste von eiszeitlichen und zwischeneiszeitlichen Floren liegen vor, noch besser läßt sich dann die Florenfolge der Nacheiszeit übersehen. Das Alföld (die Tiefebene) war zunächst eine klimatische Steppe, die nach der Steinzeit zum Wald-Moorgebiet und dann zur Waldsteppe wurde. Erst die seit der Bronzezeit wirkenden Kulturreinflüsse haben dann die heutige Kulturesteppe geschaffen, auch die floristisch so eigenartigen Sand- und Alkalisteppen. Das Gebiet gehört dem mitteleuropäischen Florenbezirk an, wenngleich auch pontische, sarmatische und andere Elemente nicht fehlen, und zeigt eine im einzelnen recht wechselnde Vegetation. Im Raume von Rumpf-Ungarn lassen sich etwa 90 Assoziationen in 38 Verbänden unterscheiden, die am Schluß zusammengestellt sind und durch eine Reihe recht guter Bilder erläutert werden. So bekommt auch der mit den Einzelformen weniger Vertraute einen Einblick in die großen, hier auf kleinem Raum vereinigten Gegensätze. R. KRÄUSEL.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÜFFERT, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.

Kontinuierliche Spektren

Von

Dr. **Wolfgang Finkelnburg**

Dozent für Physik an der Technischen Hochschule Darmstadt

(Struktur und Eigenschaften der Materie, Band XX)

Mit 103 Abbildungen. XI, 368 Seiten. 1938. RM 33.—; gebunden RM 34.80

Inhaltsübersicht:

Einleitung. — Allgemeine Theorie der kontinuierlichen Zustände von Elektronen und ihrer Spektren. — Absorptionsgrenzkontinua und Photoionisation. — Elektronenrekombination und Seriengrenzkontinua in Emission. — Kontinuierliche Strahlung und Absorption freier Elektronen. — Störungen von Elektronenkontinua. — Allgemeine Übersicht über die Molekülkontinua. — Die Theorie der Molekülkontinua. — Die typischen Fälle von Molekülkontinua. — Die kontinuierlichen Spektren spezieller zweiatomiger Moleküle. — Kontinuierliche Spektren mehratomiger Moleküle. — Linienbreiten. — Kontinuierliche Spektren von Flüssigkeiten, Lösungen und Kristallen. — Temperaturstrahlung und schwarze Strahlung. — Übersicht über die beobachteten Gaskontinua in Absorption und Emission nach Elementen geordnet. — Die kontinuierlichen Emissionsspektren und ihre Erzeugungsmethoden. — Literatur-, Namen- und Sachverzeichnis.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

Das freie Elektron in Physik und Technik

Vorträge von

Dr.-Ing. habil. **E. Brüche**, Berlin, Dr. **H. Ewest**, Berlin, Dozent Dr. **R. Frerichs**, Berlin, Professor Dr. **W. Gerlach**, München, Dr. **A. Glaser**, Berlin, Professor Dr. **W. Kossel**, Danzig, Professor Dr. **C. Ramsauer**, Berlin, Dr.-Ing. **H. Rothe**, Berlin, Professor Dr. **H. Rukop**, Berlin, Dr.-Ing. **E. Ruska**, Berlin, Professor Dr. **W. Schottky**, Berlin, Dr. **M. Steenbeck**, Berlin

Veranstaltet durch den

Bezirk Berlin des Verbandes Deutscher Elektrotechniker — vormals Elektrotechnischer Verein e. V. — in Gemeinschaft mit dem Außeninstitut der Technischen Hochschule Berlin

Herausgegeben von

Professor Dr. **C. Ramsauer**

Berlin

Mit 223 Abbildungen. VII, 270 Seiten. 1940

RM 24.—; gebunden RM 25.50

Das Buch bildet die Wiedergabe einer Vortragsreihe, die im Winter 1938/39 durch den Bezirk Berlin des Verbandes Deutscher Elektrotechniker in Gemeinschaft mit dem Außeninstitut der Technischen Hochschule Berlin veranstaltet wurde.

Die Reihe behandelt in den ersten 6 Vorträgen Fragen der Physik des Elektrons mit den Themen: Das freie Elektron, Wechselwirkung des Elektrons mit der Materie, Elektronenbefreiung, Gasentladung, Strahlungsanregung von Gasen und festen Körpern, Röntgenphysik. In der zweiten Hälfte von 6 Vorträgen stehen Ausführungen über technische Anwendungen der Elektronenstrahlung im Vordergrund, und zwar: Systematik der Elektronengeräte, Verstärker- und Kurzwellenröhren, Stromrichter, Abbildungsgeräte, Leuchtröhren.

Inhaltsübersicht:

A. Das freie Elektron in der Physik. Das freie Elektron. Von Professor Dr. W. Gerlach, Direktor des Physikalischen Instituts der Universität München. — **Wechselwirkung zwischen Elektron und Materie.** Von Professor Dr. C. Ramsauer, Direktor des Forschungsinstituts der AEG, Berlin. — **Elektronenbefreiung.** Von Professor Dr. W. Schottky, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Siemens & Halske AG., Berlin, mit einem einführenden Kapitel von Dr. A. Recknagel, Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Forschungsinstituts der AEG, Berlin. — **Entladungserscheinungen.** Von Dr. M. Steenbeck, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Siemens-Schuckertwerke AG., Berlin. — **Strahlungsanregung von Gasen und festen Körpern.** Von Dozent Dr. R. Frerichs, Laboratoriumsleiter in der Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung m. b. H., Berlin. — **Röntgenphysik.** Von Professor Dr. W. Kossel, Direktor des Physikalischen Instituts der Technischen Hochschule Danzig. — **B. Das freie Elektron in der Technik. Systematik der Elektronengeräte.** Von Dr.-Ing. habil. E. Brüche, Leiter des Physikalischen Laboratoriums am Forschungsinstitut der AEG, Berlin. — **Verstärker- und Senderöhren (stationäre Vorgänge).** Von Professor Dr. H. Rukop, Vorstandsmitglied der Telefunken-Ges. m. b. H., Berlin. — **Nichtstationäre Vorgänge in Elektronenröhren.** Von Dr.-Ing. H. Rothe, Abteilungsvorstand der Hochfrequenzlaboratorien der Telefunken-Ges. m. b. H., Berlin. — **Stromrichter.** Von Dr. A. Glaser, Leiter des Röhren-Laboratoriums am Forschungsinstitut der AEG, Berlin. — **Abbildungsgeräte.** Von Dr.-Ing. E. Ruska, Laboratorium für Elektronenoptik der Siemens & Halske AG., Berlin. — **Leuchtröhren.** Von Dr. H. Ewest, Geschäftsführer der Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung m. b. H., Berlin. — Schrifttum.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

Hierzu eine Beilage vom Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden, und zwei Beilagen vom Verlag Julius Springer.

Für den Textteil verantwortlich: Fritz Süffert in Berlin W 9; für den Anzeigenteil: Albert Meyer in Berlin-Steglitz, Kühlebornweg 5. Pl. 4. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig. — Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Printed in Germany.